



**Duarte Lamas Vieira Segurado**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

# Sistema de *Cloud* baseado em Dispositivo Multi-sensor para Aplicação em Edifícios Históricos

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: João Francisco Alves Martins, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Fevereiro de 2017



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



**Sistema de *Cloud* baseado em Dispositivos Multi-sensor para Aplicação em Edifícios Históricos**

Copyright © Duarte Lamas Vieira Segurado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*“We never fail when we try to do our duty, we always fail when we neglect to do it”*

*Robert Baden-Powell*



## Agradecimentos

Gostaria de aproveitar esta ocasião e de deixar aqui o meu mais profundo e sincero agradecimento a todos os que de uma forma ou de outra me apoiaram e me ajudaram a concluir mais esta etapa da minha vida com sucesso.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor João Martins pela sua disponibilidade na orientação desta dissertação e por todo o apoio prestado no decorrer na realização da mesma. Da mesma forma, agradeço todos os conselhos e todas as revisões efetuadas a este documento, que me permitiram uma aprendizagem que levarei para o futuro.

Gostaria igualmente de agradecer à instituição da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e a todos os seus professores e funcionários, em especial ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica. Tornou-se uma segunda casa para mim e onde me foram inculcados valores e aprendizagens que contribuem, não só a nível profissional, mas principalmente para ser a pessoa que sou hoje.

O meu mais sincero agradecimento a todos os colegas e amigos que fiz nos 5 anos em que tive nesta faculdade, em especial ao Carmo, à Joana, ao Mestre, ao Prego, ao Silva, à Daniela, ao Freitas e ao Estevam. A estes, que levarei comigo sempre no coração e que contarei para o resto da minha vida, devo todo o meu sucesso académico e sem a sua amizade, companheirismo, entreajuda e partilha de conhecimento, seria uma caminhada extremamente mais difícil de percorrer. Um agradecimento especial também aos colegas da sala 1.5, Santos, Sousa, Dinis e Sofia, pela partilha de todos os bons momentos lá passados. Ao Melo, ao Professor Valtchev e aos meus alunos por me terem ajudado a crescer e a cumprir orgulhosamente a minha tarefa enquanto monitor desta faculdade.

A todos os meus amigos que me ajudaram a concluir esta fase com sucesso e que sempre pude contar com eles para desabafar e me ajudarem, o meu mais profundo agradecimento, em especial ao Victor, ao Bruno, ao Daniel, ao Alexandre, ao Luís, ao Xiko, ao Carlitos, ao Rui Pedro, ao Ângelo, à Rita, à Andreia, ao Zé Miguel, ao Zé Maria, à Joaquina, às minhas amigas de sempre, Madalena e Inês, ao meu afilhado Duarte, à Irmã Soledade e ao Pe João que me ajudaram a ser quem sou, não só a nível humano, como também na minha caminhada de Fé.

A toda a minha família, a quem eu peço desculpa pelos momentos de ausência a que este trabalho exigiu, em especial à minha Avó, ao meu Pai, às minhas irmãs e à minha Mãe com quem sempre pude contar e a quem eu tenho de agradecer toda a ajuda e incentivo, todo o esforço, todo o apoio, todas as condições e todo o amor incondicional. Sem eles, não seria o homem que sou hoje e não estaria neste momento a redigir estas palavras. Do fundo do coração, o meu mais sincero obrigado!

Por último, à Madalena, pessoa com quem partilhei os melhores momentos da minha vida, agradeço todo o constante apoio e incentivo, carinho e amizade incondicional ao longo dos últimos 7 anos. Por estar sempre presente, por poder sempre contar com ela para desabafar e partilhar os meus pensamentos e por toda a ajuda na realização desta dissertação, o meu maior sincero agradecimento.

A todos sem exceção, o meu mais profundo e sincero agradecimento por me terem ajudado a terminar esta importante etapa da minha vida.



## Resumo

A Europa é uma das regiões a nível mundial com a maior riqueza a nível de património cultural, na qual os Edifícios Históricos exercem um papel principal. Devido à sua importância a nível cultural, é necessário criar condições e normas favoráveis e encorajadoras que levem à preservação e monitorização deste tipo particular de edifícios, por forma a facilitar a sua sustentabilidade. Esta sustentabilidade, bem como a diversidade dos edifícios históricos requerem soluções teóricas que sejam de simples instalação, permitindo o seu manuseamento e controlo sem a crucial necessidade de especialistas.

Atualmente, diversos projetos têm o seu foco no desenvolvimento de sistemas de monitorização complexos, utilizando redes de sensores bastante avançadas e completas, bem como tecnologias emergentes, como é o caso da “Internet das Coisas” ou do armazenamento de uma grande quantidade de dados (“Big Data”) na Nuvem (“Cloud Computing”).

A presente dissertação apresenta o desenvolvimento de um sistema baseado numa rede de sensores e num repositório *Cloud*, visando, em particular, a sua aplicação em edifícios históricos. O presente estudo pretende igualmente integrar nesta rede de sensores a tecnologia dos “Beacons”, isto é, um “Sistema de Proximidade em Ambientes Fechados”. Da mesma forma, neste estudo pretende-se desenvolver um sistema aberto, que consiste num sistema capaz de ser parametrizável de acordo com as condições inerentes ao local de instalação do mesmo.

Os testes ao sistema foram realizados num ambiente de simulação que pretende demonstrar a potencialidade do mesmo e visam o seu aperfeiçoamento com o objetivo final da sua implementação em ambientes reais.

**Palavras-chave:** Preservação, Monitorização, Edifícios Históricos, Arduino, Rede Multi-Sensor, Beacon, Repositório Cloud



# Abstract

Europe is one of the World's regions presenting the richest cultural heritage. Among this cultural heritage, Heritage Buildings (HBs) play a major role. Due to their cultural importance, it is necessary to create favorable standards and encouraging conditions conducive to historical buildings preservation and monitoring, in order to facilitate their sustainability. This sustainability as well as the diversity of historic buildings requires theoretical solutions that are simple and easy to install, as well as allowing them to be handled and maintained without the crucial need of specialists.

Several projects are currently developing complex monitoring systems, using very advanced and complete sensor networks, as well as emerging technologies, such as the “Internet of Things” and the storage of a large amount of data ("Big Data") in the Cloud ("Cloud Computing").

This study presents the development of a system based on a sensor network and in a Cloud repository, particular developed for Heritage Buildings. The present study also intends to integrate into this sensor network Beacons technology, ie a "Proximity System in Closed Environments". It is intended to develop an open system, in other words, that can be parameterized according to the particular conditions of its installation place.

The tests performed to the system in a simulation environment are intended to demonstrate its potentiality and aim at its improvement with the final objective of its application in real environments.

**Keywords:** Preservation, Monitoring, historic buildings, Arduino, Multisensor Network, Beacon, Cloud Repository



# Índice Geral

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Objetivos e Motivação .....	3
<b>2</b>	<b>Monitorização de Edifícios Históricos.....</b>	<b>5</b>
2.1	Edifícios Históricos .....	7
2.2	Monitorização .....	8
2.3	Monitorização em Edifícios Históricos.....	9
2.3.1	SMooHS – Smart Monitoring of Historic Structures .....	10
2.3.2	SHBuildings – Smart Heritage Buildings .....	13
2.3.3	MHS – Monitoring Heritage System .....	17
<b>3</b>	<b>Arquitetura do Sistema de Monitorização.....</b>	<b>21</b>
3.1	Descrição Conceptual da Arquitetura do Sistema.....	23
3.1.1	Plataforma .....	24
3.1.2	Sensores para Aquisição de Dados .....	27
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento do Sistema Multi-Sensor.....</b>	<b>33</b>
4.1	Implementação do Sistema Multi-Sensor .....	33
4.1.1	Implementação dos Sensores em Circuitos Elétricos.....	33
4.1.2	Integração e Implementação do Sistema em Arduino .....	37
4.1.3	Implementação dos <i>Beacons</i> .....	53
4.2	Implementação do Website .....	57
<b>5</b>	<b>Resultados Experimentais .....</b>	<b>61</b>
5.1	Monitorização de Temperatura e de Humidade .....	66
5.1.1	Temperatura .....	67

5.1.2	Humidade .....	70
5.2	Monitorização da Luminosidade .....	73
5.3	Deteção e Monitorização de Movimento .....	77
5.4	Integração da Tecnologia de <i>Beacons</i> .....	80
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>83</b>
6.1	Conclusões .....	83
6.2	Sugestões de Trabalho Futuro .....	86
	<b>Referências .....</b>	<b>89</b>

## Índice de Figuras

Figura 2.1: Esquema geral de sistemas de monitorização <i>wireless</i> .....	12
Figura 2.2: Esquema de funcionamento global utilizado pelo sistema SHBuildings.....	15
Figura 2.3: Arquitetura conceptual da infraestrutura computacional distribuída.....	16
Figura 3.1: Ilustração da Utilização da Tecnologia de Beacons .....	22
Figura 3.2: Diagrama Conceptual do Sistema Desenvolvido .....	23
Figura 3.3: Arduino Yún.....	24
Figura 3.4: Arquitetura de Rede do Sistema Desenvolvido .....	25
Figura 3.5: Hardware do Arduino Yún .....	26
Figura 3.6: Componentes do Sistema Desenvolvido .....	28
Figura 3.7: Sensor LM35DZ/NOPB .....	29
Figura 3.8: Sensor HIH-4000-001.....	30
Figura 3.9: Sensor VT935G .....	31
Figura 3.10: Sensor EKMC1603111.....	31
Figura 3.11: Módulo LM506 .....	32
Figura 4.1: Implementação do Sensor de Temperatura LM35.....	34
Figura 4.2: Implementação do Sensor de Humidade HIH-4000-001.....	35
Figura 4.3: Implementação do Sensor de Luminosidade (LDR).....	35
Figura 4.4: Fluxograma do Processo Inicial do Sistema.....	38
Figura 4.5: Fluxograma do Processo Geral dos Sensores Ambientais.....	40
Figura 4.6: Fluxograma do Processo de Leitura do Sensor de Temperatura .....	41
Figura 4.7: Fluxograma do Processo de Leitura Média da Temperatura .....	43
Figura 4.8: Fluxograma do Processo do Sensor de Movimento .....	52
Figura 4.9: Funcionamento do Sensor Passivo de Infravermelhos (Movimento).....	53

Figura 4.10: Esquema da Comunicação entre os dois Processadores do Arduino Yún .....	55
Figura 4.11: Interface do Terminal do Arduino Yún .....	55
Figura 4.12: Configuração na Aplicação “USBeacon” dos UUID dos módulos Bluetooth a localizar .....	56
Figura 4.13: Relação entre os Valores UUID, Major e Minor .....	57
Figura 4.14: Configuração e Armazenamento da Informação na Base de Dados .....	58
Figura 4.15: Interface dos ficheiros PHP alojados no servidor FTP .....	59
Figura 5.1: Website com Apresentação dos Resultados Obtidos .....	62
Figura 5.2: Visualização do Website em Diferentes Dispositivos .....	63
Figura 5.3: Conjunto de “alertas” emitidos pelo sistema de monitorização de ambos os dispositivos .....	65
Figura 5.4: Ilustração da Utilização do Sistema Desenvolvido com múltiplos Dispositivos Multi-sensor.....	68
Figura 5.5: Apresentação dos Dados Adquiridos (Temperatura) no Website.....	69
Figura 5.6: Conjunto de “alertas” para os últimos valores recolhidos .....	70
Figura 5.7: Apresentação dos Dados Adquiridos (Humidade) no Website.....	71
Figura 5.8: Conjunto de “alertas” para os três primeiros e dois últimos valores recolhidos .....	72
Figura 5.9: Apresentação dos Dados Adquiridos (Luminosidade) no Website .....	75
Figura 5.10: Conjunto de “alertas” para os penúltimos valores recolhidos.....	76
Figura 5.11: Atuação do Sensor de Movimento ao acender um LED .....	78
Figura 5.12: Interface da localização dos Beacons na Aplicação “USBeacon” .....	81



## Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Projetos Europeus no Âmbito da Monitorização de Edifícios Históricos .....	5
Tabela 3.1: Especificações do Microcontrolador Arduino AVR .....	26
Tabela 3.2: Especificações do Microprocessador Linux.....	27
Tabela 4.1: Especificações e Expressões de Conversão do Sensor HIH 4000-001 .....	45
Tabela 4.2: Tensão de Saída do LDR do Dispositivo 1 em Função da Luminosidade .....	47
Tabela 4.3: Tensão de Saída do LDR do Dispositivo 2 em Função da Luminosidade .....	48
Tabela 4.4: Avaliação realizada à Reta de Calibração do LDR do Dispositivo 1.....	50
Tabela 4.5: Avaliação realizada à Reta de Calibração do LDR do Dispositivo 2.....	50
Tabela 5.1: Valores de humidade relativa e de temperatura aconselhados consoante o tipo de material.....	67
Tabela 5.2: Níveis de Iluminação recomendados consoante o Tipo de Material.....	74
Tabela 5.3: Características Elétricas do Sensor de Movimento .....	78

# Acrónimos

**BLE** Bluetooth Low Energy

**CE** Comissão Europeia

**CIP** Competitiveness and Innovation Framework Programme (Programa para a Competitividade e Inovação)

**COST** European Cooperation in Science and Technology (Cooperação Europeia na Ciência e Tecnologia)

**DGPC** Direção Geral do Património Cultural

**ESF** European Social Fund (Fundo Social Europeu)

**ETC** (também conhecido como Interreg) European Territorial Cooperation (Cooperação Territorial Europeia)

**EURAC** European Academy of Bozen/Bolzano (Academia Europeia de Bozen/Bolzano)

**FEDER/ERDF** Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional/ European Regional Development Fund

**FR** Framework Programmes for Research and Technological Development (Programas de Financiamento para a Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico)

**FTP** File Transfer Protocol

**GPS** Global Positioning System (Sistema Global de Posicionamento)

**HCI** Host Controller Interface

**I+D+I** Investigación, Desarrollo e Innovación (Investigação, Desenvolvimento e Inovação)

**i2MHB** Innovation in Intelligent Management of Heritage Buildings (Inovação na Gestão Inteligente de Edifícios Históricos)

**IDE** Integrated Development Environment (Ambiente Integrado de Desenvolvimento)

**IEC** Internacional Electrotechnical Commission (Comissão Internacional de Eletrotécnica)

**IoT** Internet of Things (Internet das Coisas)

**LDR** Light Dependent Resistor (Resistência Dependente da Luz)

**MHS** Monitoring Heritage System (Sistema de Monitorização do Património)

**n.d.** no date (Sem data)

**N/A** Not Available (Não Disponível)

**PWM** Pulse-Width Modulation (Modulação por Largura de Impulso)

**SHBuildings** Smart Heritage Buildings (Edifícios Históricos Inteligentes)

**SMEs** Small and Medium-sized Enterprises (Pequenas e Médias Empresas)

**SMooHS** Smart Monitoring of Historic Structures (Monitorização Inteligente de Estruturas Históricas)

**SO** Sistema Operativo

**SSH** Secure Shell

**UE** União Europeia

**UNESCO** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organização para a Educação, Ciência e Cultura das Nações Unidas)

**USB** Universal Serial Bus

**UUID** Universally Unique Identifier



# 1 Introdução

Com o objetivo de introduzir a presente dissertação ao leitor, neste primeiro capítulo será feito um Enquadramento e apresentada a Motivação que originou a escrita da mesma, os objetivos a que se propõe e por último, uma breve descrição dos restantes capítulos que compõem a dissertação.

## 1.1 Enquadramento

“Património cultural é o legado de artefactos físicos e atributos intangíveis de um grupo ou sociedade que são herdadas de gerações passadas, preservado no presente e concebido para o benefício das gerações futuras” (Tangible Cultural Heritage | UNESCO, n.d.).

O termo “Património Cultural” abrange diversas categorias principais no âmbito do património:

1. Património Cultural
  - Tangível
    - Móvel: inclui pinturas, esculturas, moedas, manuscritos, entre outros;
    - Imóvel: inclui monumentos, locais arqueológicos, entre outros;
    - Subaquático: inclui naufrágios, ruínas e cidades subaquáticas.
  - Intangível: inclui tradições orais, espetáculos de arte, rituais, entre outros.
2. Património Natural: inclui locais naturais com aspetos culturais, tais como, paisagens culturais, formações físicas, biológicas ou geológicas.
3. Património em eventos de conflito armado (UNESCO, 1954).

Segundo a UNESCO, e de acordo com a Convenção Geral para a Proteção do Património Mundial, Cultural e Natural redigida em 1972, entende-se por “Património Cultural” como o conjunto de monumentos, de edifícios ou de locais de valor histórico, estético, arqueológico, científico, etnológico e antropológico. Citando o Artigo 1º da referida Convenção (UNESCO, 1972):

“Para fins da presente Convenção serão considerados como património cultural:

- Os monumentos. – Obras arquitectónicas, de escultura ou de pintura monumentais, elementos de estruturas de carácter arqueológico, inscrições, grutas e grupos de elementos com valor universal excepcional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência;
- Os conjuntos. – Grupos de construções isoladas ou reunidos que, em virtude da sua arquitectura, unidade ou integração na paisagem têm valor universal excepcional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência;
- Os locais de interesse. – Obras do homem, ou obras conjugadas do homem e da natureza, e as zonas, incluindo os locais de interesse arqueológico, com um valor universal excepcional do ponto de vista histórico, estético, etnológico ou antropológico.”

O património cultural imóvel integra os bens imóveis que assumem relevância para a compreensão, permanência e construção da identidade nacional, bem como para a democratização da cultura. Estes bens constituem testemunhos com valor de civilização ou de cultura. O interesse cultural relevante destes bens, nomeadamente histórico, paleontológico, arqueológico, arquitetónico, artístico, etnográfico, científico, industrial ou técnico, reflete valores de memória, antiguidade, autenticidade, originalidade, raridade, singularidade ou exemplaridade. Estes bens imóveis poderão pertencer às categorias de monumento, conjunto ou sítio (lei 107/2001, 8 setembro - Lei de Bases do Património Cultural).

Os contextos dos bens imóveis poderão também integrar o património cultural que mediante o seu valor de testemunho, possuam com os respetivos bens uma relação interpretativa e informativa. Nessa perspetiva, poder-se-á incluir no património cultural imóvel, os bens naturais, ambientais, paisagísticos ou paleontológicos.

A proteção legal dos bens imóveis assenta na classificação e na inventariação. No que diz respeito à sua classificação, estes podem ser de interesse nacional, de interesse público ou de interesse municipal. Os bens culturais imóveis contidos na lista do património mundial integram, para todos os efeitos e na respetiva categoria, a lista dos bens, cuja classificação seja de interesse nacional (DGPC | Património | Património Imóvel, n.d.).

O património arquitetónico, não só o construído, como também o paisagístico, englobando as configurações que o meio ambiente toma e que provêm da interação das pessoas com os lugares

ao longo do tempo, não só é um recurso de importância vital para a identidade coletiva, como também se impõe como um fator de diferenciação e de valorização territorial que implica preservar e legar para as gerações vindouras.

A conservação deste património, a sua valorização e divulgação tem um potencial de projeção local, regional, nacional e, em determinadas situações, mundial, com uma enorme capacidade de atratividade de diferentes públicos pelos mais diversos aspetos associados à sua fruição, atendendo à diversificação dos valores associados; de ordem histórica, urbanística, arquitetónica, etnográfica, social, industrial, técnica, científica e artística.

Neste sentido, as intervenções que se operam no património cultural, construído e paisagístico, devem ter o foco nas suas diversas valências e expressões que o caracterizam e que lhe concedem um carácter único e insubstituível, através de uma operação técnica pluridisciplinar integrada e exigente. Estas ações são determinantes para que as gerações futuras possam usufruir destes monumentos, conjuntos ou locais singulares, e dos respetivos contextos que com eles possuem uma relação interpretativa e informativa (DGPC | Património Arquitetónico, n.d.).

Tendo em conta a importância que o património cultural representa, é necessário criar medidas e condições favoráveis à preservação e à monitorização, tornando os edifícios históricos sustentáveis.

## 1.2 Objetivos e Motivação

A sustentabilidade e a diversidade dos edifícios históricos exigem a existência de soluções que sejam de simples e de fácil instalação, bem como permitir a sua operação e manutenção por parte de um utilizador comum, isto é, não apenas por especialistas.

O presente estudo surge no contexto da necessidade de responder à seguinte questão: de que maneira poderemos tornar os Edifícios Históricos mais sustentáveis e tornar todos os indivíduos responsáveis pela sua preservação? Em resposta à pergunta anterior surge, tornando-se como o objetivo principal desta dissertação o seguinte:

- Criar um sistema de monitorização em edifícios históricos, “user-friendly” e centrado no utilizador, tanto para quem instala o sistema, como também com o intuito de permitir a interação com quem o usufrua, baseado em dispositivos multi-sensores e num repositório *Cloud*.

Pretende-se um sistema fácil de utilizar, atendendo às necessidades de sustentabilidade deste tipo particular de edifícios, como foi introduzido no parágrafo anterior. Para que se possa cumprir este objetivo é necessário definir objetivos mais concretos, desenvolvendo um sistema com base em sensores. Este sistema, simples e de fácil instalação, deverá ser idealmente, um sistema de *plug&play*. Nesse sentido, o sistema proposto é a implementação de um dispositivo multi-sensor, que faça a leitura de diversas variáveis, monitorizando não só condições ambientais, como temperatura, humidade, entre outros, bem como diversos equipamentos. É pretendido igualmente, desenvolver um sistema de registo e gestão de base de dados provenientes destes sensores, fazendo com que estes dispositivos instalados no edifício comuniquem com o computador central via *wireless*, desenvolvendo um sistema de armazenamento em *Cloud*.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação integra-se no âmbito de uma ação COST a decorrer, TD1406, designada por *Innovation in Intelligent Management of Heritage Buildings* (i2MHB), na qual a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT) é coordenadora e este estudo surge na sequência de um projeto anterior onde a FCT foi parceira, designado por *Smart Heritage Buildings* (SHBuildings).



## 2 Monitorização de Edifícios Históricos

No presente capítulo irão ser abordados diversos conceitos de e relacionados com a monitorização em edifícios históricos, bem como a importância que é todo este processo de preservação e conservação de todo o património histórico.

Na Tabela 2.1 apresentam-se alguns projetos e trabalhos relacionados e dedicados a esta área dos edifícios históricos e sua monitorização que foram alvo de investigação e análise.

Tabela 2.1: Projetos Europeus no Âmbito da Monitorização de Edifícios Históricos

Acrónimo	Nome/Breve descrição	Coordenador
<b>3ENCULT</b>	<i>Efficient Energy for EU Cultural Heritage</i>	Alexandra Troi (Itália)
<b>CURE</b>	Centro para construção e reabilitação urbana: transferência de tecnologia, pesquisa e educação	Universidade Técnica de Gdansk (Jan Godelwski, Polónia)
<b>DEMOTEC-A</b>	Desenvolvimento de um sistema de monitorização para o património cultural através da cooperação europeia	Fundação Norueguesa para a Investigação da Natureza e do Património Cultural (Anne Fikkan, Noruega)
<b>EFFESUS</b>	<i>Energy Efficiency for EU historic districts</i>	Alessandra Gandini (Itália)

<b>Acrónimo</b>	<b>Nome/Breve descrição</b>	<b>Coordenador</b>
<b>EU-CHIC</b>	<i>European Cultural Heritage Identity Card</i>	Universidade de Ljubljana (Roko Zarnic, Eslovénia)
<b>FIRESENSE</b>	Deteção e gestão de incêndios através de uma rede multi-sensor para proteção de áreas de património cultural do risco de incêndio e de condições meteorológicas extremas	Centro para a Investigação e Tecnologia de Hellas (Athanasios Constantopoulos, Grécia)
<b>FIRE-TECH</b>	Avaliação do risco de incêndio do património cultural europeu: quantificação das prioridades e otimização de estratégias de proteção contra incêndios	N/A
<b>HISTO-CLEAN</b>	Tecnologia inteligente de medição para a limpeza a laser de edifícios históricos e monumentos	Gerd Grigoleit, Alemanha
<b>LASERACT</b>	Tecnologia laser multi-tarefa não-destrutiva em procedimento de diagnóstico de conservação	Fundação para a Investigação e Tecnologia de Hellas (Eleftherios Economou, Grécia)
<b>LIDO</b>	Dosímetro de luz para monitorizar o património cultural: desenvolvimento, teste e transferência para o mercado	Ruediger Dorner, Alemanha
<b>MHS</b>	<i>Monitoring Heritage System</i>	Fundação Santa Maria la Real
<b>MUSECORR</b>	Proteção do património cultural através da monitorização da corrosão em tempo-real	Instituto da Corrosão (Dominique Thierry, França)
<b>PERPETUATE</b>	Abordagem baseada no desempenho da proteção de terremotos no património cultural em países Europeus e Mediterrânicos	Universidade de Génova (Claudia Parco, Itália)

(continuação da Tabela 2.1)

<b>Acrónimo</b>	<b>Nome/Breve descrição</b>	<b>Coordenador</b>
<b>SENSORGAN</b>	Sistema de sensores para deteção de ambientes prejudiciais para órgãos de tubos	Universidade de Gotemburgo (Carl Johan Bergsten, Suécia)
<b>SHBuildings</b>	<i>Smart Heritage Buildings</i>	Fundação Santa María la Real – Gumersindo Bueno Benito (Espanha)
<b>SMooHS</b>	<i>Smart Monitoring of Historic Structures</i>	Universidade de Estugarda (Alemanha)
<b>TEACH</b>	Tecnologias e ferramentas para priorizar a avaliação e o diagnóstico do impacto da poluição atmosférica sobre o património cultural móvel e imóvel	Conselho Nacional de Pesquisa (Cristina Sabbioni, Itália)

(continuação da Tabela 2.1)

A importância da conservação e manutenção do património cultural está bem espelhado na sensibilidade que a Comissão Europeia e em todos os esforços que esta reúne para que tal aconteça, dando condições às entidades responsáveis por tais ações de preservação. Para o ano civil de 2016/17, espera-se que o programa de financiamento da UE, Horizon 2020, disponibilize mais de 100 milhões de euros para pesquisa e inovação no domínio do património cultural. Este aumento de financiamento, não só demonstra a elevada importância e preocupação por esta área, como também reconhece o património cultural como uma oportunidade de investimento, onde a investigação e a inovação poderão fazer a diferença (Comissão Europeia, 2015).

## 2.1 Edifícios Históricos

Como foi referido no subcapítulo 1.1 referente ao Enquadramento, segundo a UNESCO (1972), considera-se um monumento como património cultural, todas as “obras arquitetónicas, de escultura ou de pintura monumentais, elementos de estruturas de carácter arqueológico, inscrições, grutas e grupos de elementos com valor universal excecional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência”.

A área dos Edifícios Históricos é imensamente diversificada e estudada por um grande número de entidades, resultando na existência de diversas definições para o termos “Edifícios Históricos”. Segundo o Dicionário de Cambridge, um “Edifício Histórico” é uma construção com um grande valor histórico e artístico que beneficia de proteção oficial para prevenir o mesmo de alguma mudança ou alteração da sua edificação, bem como para o proteger de eventuais ações que o possam destruir (Dicionário de Cambridge, 2016).

Porém, é necessário desenvolver este trabalho segundo uma definição específica, pelo que se seleciona a seguinte definição como base para a elaboração deste estudo. "Edifício Histórico" significa e inclui qualquer construção de uma ou mais instalações ou qualquer parte do mesmo e/ou estrutura e/ou artefacto que exige conservação e/ou preservação para um propósito histórico e/ou arquitetónico, artesanal, estético, cultural, ambiental e/ou ecológico. Está também incluída toda a porção de terra e/ou solo adjacente ao mesmo, onde se compreende o edificado ou parte do mesmo que possa ser necessária para a vedação ou cobertura ou qualquer material que tenha a função de preservar o valor histórico, arquitetónico, estético e/ou valor cultural do respetivo edifício (Central Public Works Department, 2013).

## 2.2 Monitorização

Conforme a IEC, um sistema de monitorização de processos é um sistema que permite a observação contínua ou sequencial e o registo de processos técnicos (IEC, 2013).

A monitorização pressupõe a recolha de forma repetida e frequente de um determinado conjunto ou conjuntos de dados específicos ao longo do tempo e, posteriormente, a análise dos resultados que advêm dessa recolha. Esta análise irá permitir detetar as mudanças que ocorreram ou que estão na iminência de acontecer. A recolha desta informação simplifica a identificação de problemas recorrentes e/ou estruturas em risco de deterioração ou mesmo já danificadas. Os locais e materiais que se reconheçam como sendo mais afetados, uma vez identificados, poderão e deverão ser monitorizados de forma mais intensiva e, quando apropriado, deverá recorrer-se a ações de restauro e recuperação dos referidos pontos (Walton, 2003).

Mesmo estando este trabalho mais centrado na aquisição de dados, a monitorização é essencial para a preservação, manutenção, eficiência, operação e sustentabilidade do objeto em causa, permitindo que o mesmo beneficie de um longo e adequado funcionamento.

Antes de se iniciar qualquer atividade de monitorização, é essencial ter em consideração a seguinte pergunta: “Qual é o propósito deste exercício de monitorização?” Quanto mais detalhada e específica for a resposta a esta pergunta, melhores serão os resultados. Pelo contrário, um breve e superficial acompanhamento não irá fornecer os resultados esperados.

Para além da consideração tida anteriormente, precedentemente será necessária uma eficiente e ampla revisão da respetiva documentação. Para tal, deverá ser recolhido o máximo de informação possível sobre o(s) edifício(s) em questão a partir de fontes existentes credíveis antes de se decidir sobre quais as atividades de monitorização que deverão ser concretizadas (LeBlanc, 2013).

## 2.3 Monitorização em Edifícios Históricos

A preservação do património é um valor intrínseco para o ser humano. Mais do que isso, é um dever conservar tudo o que afiança o conhecimento sobre a sua história, o que, para além da sua simples observação e proliferação ao longo dos tempos, impulsiona o setor turístico.

As estruturas históricas constituem uma parte extremamente importante do património cultural de qualquer país e os seus responsáveis têm o dever de passar toda a riqueza da sua arquitetura e dos materiais que a constituem, ao longo dos anos, para as gerações futuras. A conservação dessas estruturas apresenta uma grande variedade de desafios científicos fascinantes e diversificada; em particular, destaca-se e reconhece-se a necessidade de protegê-las da degradação ambiental a que possam estar sujeitas. A aquisição de parâmetros climáticos, bem como dos níveis de poluição do ar usados como *input* em funções ou modelos que preveem danos nas estruturas patrimoniais, tem sido consideravelmente limitada quando se efetua monitorização de diagnóstico. As limitações inerentes à atividade de avaliar com precisão o risco de danos de uma dada estrutura histórica dentro do seu ambiente envolvente leva inevitavelmente a uma investigação com métodos científicos de um levantamento direto dos danos. Incluem-se os métodos não-invasivos, contínuos, simples, económicos e capazes de operar quando submetidos a condições reais de funcionamento (Projeto SMooHS, 2011).

Considerando os locais individuais de património histórico, a monitorização envolve a medição de (Walton, 2003):

- Alterações dos fatores externos que atuam sobre o local;
- Alterações nas condições do local;

- A eficácia das ações de gestão para a conservação do local.

Estando referidos os principais aspetos relacionados com a monitorização, estes serão identificados e ilustrados em três projetos específicos e emblemáticos.

### 2.3.1 SMooHS – Smart Monitoring of Historic Structures

O projeto internacional e interdisciplinar “SMooHS” teve início em dezembro de 2008, com os seguintes objetivos delineados:

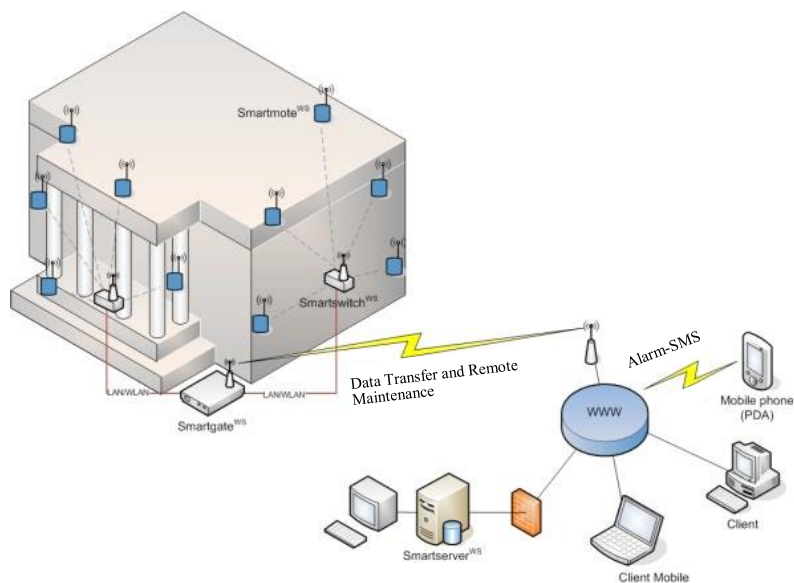
- Desenvolver sistemas de monitorização inteligentes utilizando redes sem fios em escala reduzida, bem como uma rede de sensores robusta, no sentido de tornar a instalação o menos invasiva possível;
- Monitorizar os parâmetros que apresentem resultados mais significativos com o objetivo de perceber e de intervir junto dos processos e das causas que mais deterioração causam na estrutura do edifício, da mesma maneira que pretende auxiliar a otimização da preservação do património cultural;
- Fornecer processamento inteligente de dados, com base nos modelos de deterioração no material de construção das estruturas. Desta forma, alertam-se os proprietários da construção e os responsáveis profissionais da conservação da mesma sobre as ameaças iminentes da degeneração da estrutura. No seguimento deste alerta, pretende igualmente fornecer recomendações para determinadas ações a tomar, do mesmo modo que se pretende desenvolver um *software* modular, *open-source* (código-fonte de acesso aberto, isto é, *software* livre) e “user-friendly” (interface “amigável”, isto é, simples e intuitiva) com o intuito de poder ser continuamente atualizado e ampliado, sendo assim capaz de lidar com questões mais específicas relacionadas com a possibilidade de conceber diferentes combinações de sensores, além de estar constantemente aberto à eventualidade de extensões que se desejem fazer ao sistema (Projeto SMooHS, 2011).

#### 2.3.1.1 Conceção do Hardware e Tecnologias Wireless

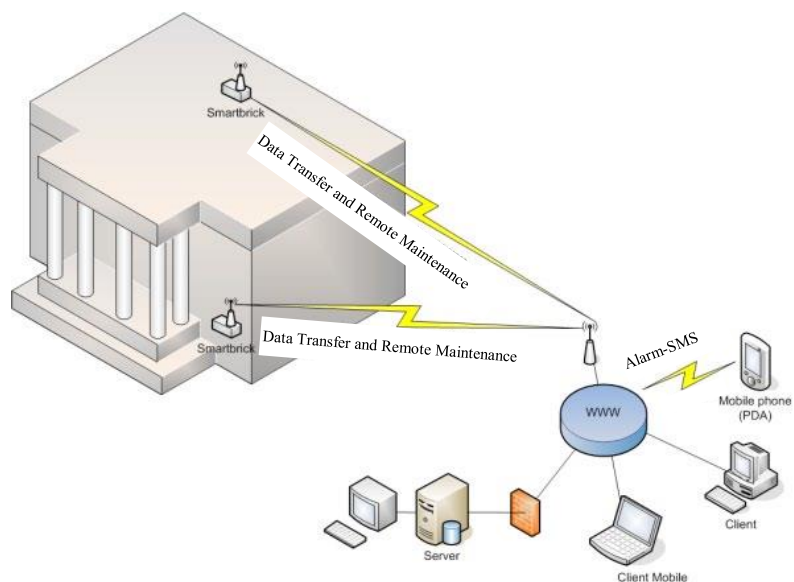
Os sistemas de monitorização sem fios (ou da literatura inglesa, *wireless*) são conhecidos por possuir diversas vantagens quando comparados com os sistemas desenvolvidos através de fios. Enumerando algumas, é possível destacar, por exemplo, a fácil instalação, a rentabilidade e operação autónoma através de períodos mais longos fornecendo assim, controlo remoto e recursos de análise. Sendo assim, estão em curso um conjunto de atividades de pesquisa e de desenvolvimento, no que diz respeito à aplicação de sistemas de monitorização sem fios para diversas estru-

turas, nomeadamente as de engenharia civil. À primeira vista, a monitorização contínua com sensores sem fios em múltiplas estruturas aparenta ser uma solução inteiramente simples e muito mais intuitiva para obter informações relativas a essas estruturas, quando confrontadas com uma análise apenas por inspeção visual. No entanto, o controlo de uma estrutura onde foi implementado um sistema baseado numa arquitetura sem fios, muitas vezes, essa tarefa de monitorização poderá não ser tão simples, como uma simples aquisição e transferência de relativamente poucos dados como por exemplo, a temperatura e humidade a cada hora, entre outras. Para essas tarefas simples, são implementadas diferentes soluções competitivas e estão hoje disponíveis no mercado com uma elevada e adequada confiabilidade, executadas na forma de registos de dados, e em parte, são também sistemas equipados com comunicações sem fios. A Figura 2.1 representa um esquema geral de um sistema de monitorização baseado numa tecnologia *wireless*.

Porém, se se tratar de um sistema onde é desejado fazer a monitorização de indicadores como por exemplo, a percentagem de humidade que envolve os materiais, a situação e o acompanhamento deste sistema torna-se um desafio, pois trata-se de uma aquisição e análise de dados consideravelmente mais sofisticados que requerem tecnologias de sensores de confiança, isto é, de uma resolução mais precisa e mais exata, e condicionamento de sinal adequado. Esta necessidade e complexidade de monitorizar um determinado sistema é ainda mais acentuada no caso de este sistema exigir um controlo de vibração ou emissão acústica causada por processos de fraturas que necessitam de taxas de amostragem mais altas.



a)



b)

Figura 2.1: Esquema geral de sistemas de monitorização *wireless*

a) Rede de sensores *wireless*.

b) Sensores *wireless* autossuficientes

Fonte: Projeto SMooHS, 2011

Tendo em conta o contexto anteriormente descrito, os principais desafios são a fonte de alimentação, sendo a baterias de pilhas as mais comuns, e fiabilidade ao longo de extensos períodos de monitorização. Para se manter rentável e viável, é imperativo encontrar um equilíbrio entre a tarefa de controlo adequada para o resultado esperado a partir dessa tarefa de monitorização e o tempo e esforço para realizar uma monitorização contínua.



É devido ao que foi supracitado que os sistemas de monitorização sem fios têm de ser adaptados à realidade para a qual se destinam, pois para atingir diferentes objetivos, cada sistema tem as suas particularidades (Projeto SMooHS, 2011).

### 2.3.2 SHBuildings – Smart Heritage Buildings

O Projeto “SHBuildings”, sigla para *Smart Heritage Buildings*, surgiu como uma aglomeração de aprendizagens e estudos anteriores, bem como com a continuação das precedentemente existentes, relativas à gestão tecnológica do Património, em colaboração com as seis entidades que participaram no projeto (uma delas, a Faculdade de Ciência e Tecnologia).

A conservação do património tem de ser um valor incutido em qualquer pessoa, sendo cada uma responsável por essa preservação. É o que se pretende nas zonas sul e sudoeste europeias no âmbito do desenvolvimento do projeto SHBuildings. Trata-se de um sistema alternativo à gestão tradicional do património, destinado a reduzir os 70 mil milhões de euros que a Europa determina anualmente para tal finalidade.

Trata-se de um sistema para solucionar os problemas mais comuns que o património europeu apresenta, como por exemplo, melhorar a eficiência energética, a segurança, diminuir os custos de manutenção e reparação, entre outros. Com este projeto, o património europeu dispõe agora de um sistema preventivo de conservação e eficiência energética financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

A iniciativa tem sido impulsionada pela Fundação Santa María la Real como coordenadora, pelo Instituto Tecnológico AIDIMA, pelas fundações CARTIF e TECNALIA, o Centro Tecnológico NOBATEK e finalmente, pela Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa, dentro do programa de financiamento, Interreg IV, de cooperação territorial do espaço sudoeste europeu.

As seis intuições desenvolveram e testaram um sistema inovador de gestão que pode diminuir os custos entre 20 a 50%, dependendo do tipo de edifício. A utilização de sensores, a computação na *Cloud* (em inglês, o conhecido termo de “Cloud Computing”) a “Internet das Coisas” (ou universalmente, “Internet of Things”) permitem assim realizar um acompanhamento e uma análise do sistema em tempo real. O projeto consistiu em criar um sistema de sensores inteligentes comunicando entre si para gerir eficazmente o património da qual ele está inserido. Este conjunto de sensores transmite os dados de forma *wireless* e processa a informação através de algoritmos desenvolvidos. Desta maneira se controla a iluminação e a passagem de pessoas ou as fendas de edificação com acelerómetros e fissurómetros. Do mesmo modo, deteta-se organismos xilófagos como térmitas ou caruncho e consegue-se recolher os níveis de dióxido de carbono, temperatura

e humidade, no sentido de evitar fungos de putrefacção na madeira que poderiam estragar rapidamente retábulos, artesanato e outras peças de valor incomensurável.

O sistema tem sido testado com sucesso em três casas piloto, nomeadamente, na Catedral de San Antolín, em Palência, Espanha, na Igreja Românica de São Pedro, em Roriz, Portugal e finalmente, no Museu Basco de Baiona, em França. Os resultados apresentados demonstram a identidade do projeto com as políticas da união europeia para com o programa de financiamento Horizonte 2020, otimizando os recursos, melhorando a qualidade de vida dos cidadãos e diminuindo o impacto sobre o meio ambiente.

A finalidade do projeto foi determinada em “desenvolver e implementar um sistema de gestão eficiente de edifícios históricos que, com base nos avanços tecnológicos gerados na sensorística, na conservação preventiva, na computação na *Cloud* e na eficiência energética, permita preservar a qualidade do Património, gerar economias de uso e manutenção, e reduzir globalmente o seu impacto sobre o meio ambiente”. O esquema de funcionamento deste projeto encontra-se ilustrado na Figura 2.2. Com base na experiência dos parceiros e em colaboração com várias entidades de âmbito patrimonial, foram identificadas duas necessidades principais:

- Apoiar na gestão dos edifícios, tornando-a mais eficiente.
- Oferecer soluções tecnológicas mais baratas, integráveis e escaláveis.

Para se conseguir atingir a finalidade do projeto, delinearam-se os seguintes objetivos:

- Reduzir as despesas das administrações em restauração, manutenção e gestão dos edifícios históricos e, desta forma, realizar essas atividades de forma mais sustentável;
- Desenvolver um sistema abrangente de gestão de edifícios (*software* e *hardware*), baseado na computação na *Cloud*, que permita que as autoridades competentes otimizem a gestão do Património imóvel tanto a nível quantitativo, como a nível qualitativo e assim economizar recursos e melhorar a sua conservação;
- Aproveitando as tecnologias de monitorização, as redes de sensores e as aplicações na computação na *Cloud*, criar um sistema escalável e integrável de controlo da conservação do edifício, da segurança e do gasto energético que se apoiará num sistema completo de gestão de visitas. O resultado final será um sistema de gestão integral de edifícios orientado para a eficiência e racionalização do gasto.

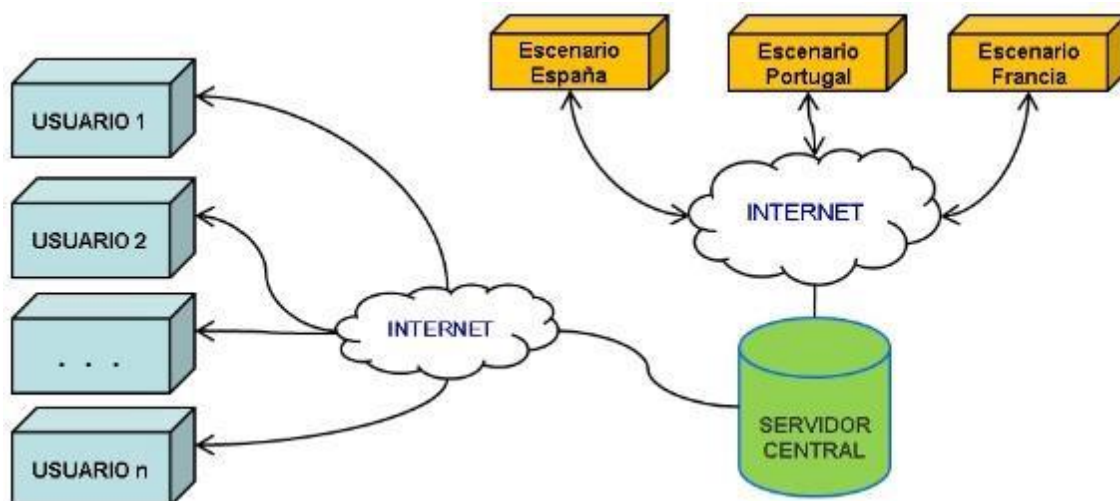


Figura 2.2: Esquema de funcionamento global utilizado pelo sistema SHBuildings  
Fonte: Projeto SHBuildings, 2015

#### 2.3.2.1 Conceção do Hardware

Os componentes e as características técnicas da parte física, isto é, do *hardware*, do sistema SHBuildings foram definidos nos seguintes documentos:

- “Relatório metodológico sobre a gestão da eficiência energética e a segurança, um sistema de gestão da computação na *cloud*, num edifício patrimonial”;
- “Concepção da infra-estrutura do sistema de monitorização para a conservação preventiva e gestão de usos”.

Nestes documentos expõe-se a necessidade de desenvolver um sensor de xilófagos e uma placa para a medição de acelerações com o objetivo de se conseguir integrar todos os parâmetros sob o mesmo sistema de monitorização. O desenvolvimento do sensor de xilófagos foi realizado numa colaboração entre a Fundação Santa María la Real e a AIDIMA. O desenvolvimento da placa para a medição de acelerações foi realizado numa colaboração entre a Fundação Santa María la Real e a TECNALIA.

#### 2.3.2.2 Conceção do Software

Com base nos requisitos técnicos especificados no documento “Requisitos do Sistema”, optou-se por realizar uma aplicação de *software* que permita a configuração da rede de sensores e a gestão dos dados de monitorização. A CARTIF desenvolveu um *kit* onde inclui a aplicação criada para este fim.

Para a receção dos dados da rede de sensores, a Fundação Santa María la Real desenvolveu, com base numa solução própria e anteriormente desenvolvida, uma aplicação de *software* específica.

Para permitir a troca de dados, dos vários demonstradores, entre os computadores/servidores localizados nos diferentes locais (sejam estes os pilotos, as instituições dos vários parceiros ou outra organização externa com acesso à internet), foi facultada aos parceiros do projeto SHBuildings uma ferramenta de *Cloud Computing*. Os computadores/servidores entre os quais se processa a troca de informação (denominados “entidades”) estão estruturados como se apresenta na Figura 2.3.

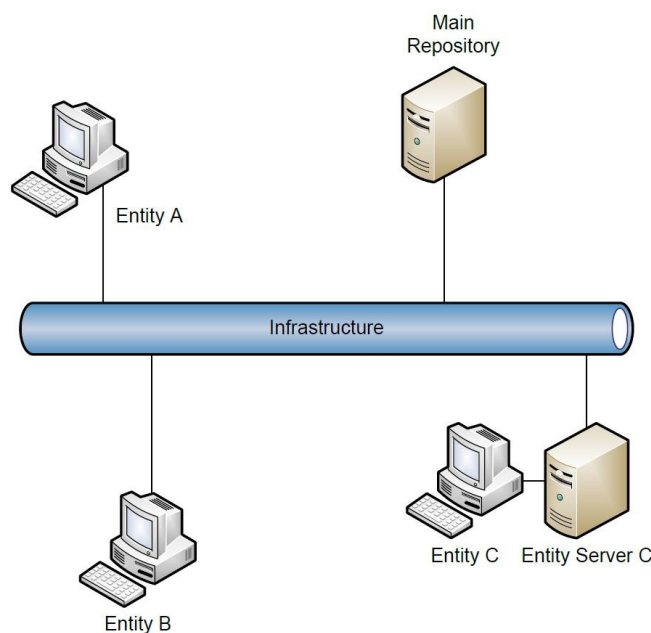


Figura 2.3: Arquitetura conceitual da infraestrutura computacional distribuída  
Fonte: Projeto SHBuildings, 2015

### 2.3.2.3 Armazenamento dos Dados

Ao longo do desenvolvimento do projeto, desde o seu início até à sua implementação, foram consideradas duas opções de armazenamento centralizado da informação gerada pelo sistema de monitorização:

- Servidor central.
- Armazenamento na *Cloud*.

Para o armazenamento e gestão da informação dos documentos gerados no projeto, estabeleceu-se a necessidade de desenvolver uma aplicação com armazenamento na *Cloud*, tarefa esta que foi realizada pela Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL).

No documento "Desenho Conceptual do Sistema da Nuvem", realizado pela FCT/UNL, especifica-se qual foi a base para o desenho conceptual do sistema de computação na *Cloud* para o projeto SHBuildings, apresentando as principais características dos sistemas de *Cloud* existentes no mercado, comparando-as e indicando a solução *Amazon Web Services* (AWS) como a mais viável para utilizar durante o presente projeto.

Durante a implementação do sistema de monitorização acordou-se em utilizar um servidor central como modo de armazenamento da informação gerada pelos sensores dos 3 cenários, em Portugal, Espanha e França.

Para o armazenamento da informação gerada por cada sistema de monitorização local, decidiu-se utilizar duas modalidades: mediante arquivos de texto ".txt" e mediante Bases de Dados (Projeto SHBuildings, 2015).

### 2.3.3 MHS – Monitoring Heritage System

Foi a partir do congresso em Vantaa, Finlândia, no ano de 2000, que a Europa mudou consideravelmente o olhar sobre o tema de “conservação preventiva”. Este tema impulsionou-se de forma significativa para se tornar num elemento principal na manutenção das políticas de património. Permite-se assim controlar os riscos de deterioração ou de uma eventual alteração não desejável nos bens patrimoniais, evitando a sua degradação, a sua perda ou a necessidade de recorrer a procedimentos de intervenção ao nível do restauro e da recuperação do património drásticos, profundos e dispendiosos.

Graças à experiência, à excelência e às capacidades técnicas no âmbito da conservação do património por parte da Fundação Santa María la Real e fruto da existência de uma equipa multidisciplinar de especialistas nas mais diversas áreas adjacentes, nasce, o sistema MHS (*Monitoring Heritage System*) com base na aplicação de novas tecnologias para a conservação de património. Trata-se de uma ferramenta inovadora e eficaz, que atende a uma necessidade real para a gestão do património histórico e que se pretende inteligente, acessível e sustentável.

O projeto *Monitoring Heritage System* (Sistema de Monitorização do Património) é um sistema de monitorização focado no património histórico, com o intuito de registar, avaliar e monitorizar diversos parâmetros críticos e influentes na manutenção do edifício, a fim de assegurar uma gestão sustentável, assim como uma eficiente manutenção do mesmo, incluindo os bens materiais que este alberga.

O sistema é constituído, por um lado, por uma parte física ou *hardware* que inclui o equipamento necessário para a medição, receção, transmissão e armazenamento de dados e por outro, uma aplicação informática de *software* que desempenha uma interface com o utilizador. A forma

inteligente de como o sistema está desenvolvido permite ativar automaticamente determinados dispositivos (automação) e realizar cálculos específicos, de forma a efetuar recomendações de intervenção no sistema, tal como, permitir o controlo de certos parâmetros.

Através de uma rede de sensores distribuídos por todo o edifício, é possível medir diferentes parâmetros, entre eles, de ambiente (como temperatura, humidade, fluxo de ar, pressão do ar, entre outros), estruturais (como vibração, fissuras, inclinação, convergência, etc.), ou ainda de segurança e consumo.

A partir dos dados recolhidos, é levada a cabo uma investigação com o objetivo de detetar o grau de deterioração do edifício, desenvolver diagnósticos preditivos e determinar os protocolos de medidas preventivas para evitar quaisquer possíveis alterações ou danos. A precisão e versatilidade que caracterizam o equipamento e o funcionamento do sistema MHS faz com que as suas aplicações sejam diversas, flexíveis e especialmente multidisciplinares. O sistema MHS concretiza o conceito de conservação preventiva e possibilita a gestão eficiente de edifícios, enquanto fornece novas ferramentas para sustentar e promover o património.

#### *2.3.3.1 Funcionamento do Sistema*

O sistema de monitorização do projeto MHS desenvolve-se por três fases: uma primeira de investigação e estudo técnico, seguindo-se uma fase de deliberação sobre o equipamento a utilizar e posterior implementação, finalizando numa terceira fase onde se regista, processa e analisa toda a informação recolhida, com posterior atuação conforme os dados colecionados.

A primeira fase centra toda a sua atividade na investigação prévia e estudo técnico do edifício em questão, para se conhecer as suas características e o seu estado de conservação, assim como a utilização e gestão do mesmo.

Na segunda fase, com base no estudo realizado previamente, define-se o equipamento necessário para assegurar a conservação preventiva do edifício, onde posteriormente é feita a instalação da rede de sensores no interior da edificação, previamente selecionados em função dos parâmetros que se querem mensurar e controlar, designadamente, ambientais, estruturais e de segurança. Consequentemente, estes sensores irão comunicar com os recetores de dados, que por sua vez atuam como transmissores, estabelecendo uma comunicação com o recetor instalado no computador principal do edifício. Este servidor irá processar todos os dados e seguidamente, enviá-los-á para a unidade de controlo localizada Central de Controlo e Gestão.

Finalmente, a terceira fase deste processo concerne ao registo de toda a informação numa extensa base de dados e está disponível no *website* oficial do projeto (Projeto MHS, 2014), à qual apenas um utilizador autorizado tem acesso, utilizador este que poderá visualizar os dados, tratá-

los e usá-los no sentido de gerir todo o sistema. Uma vez processada a informação nesta central, mediante um *software* inteligente, o sistema estabelecerá recomendações para ações humanas que tornem a conservação do edifício mais eficaz, e igualmente, acionando dispositivos de modo automático, corrigindo assim determinados valores de certos parâmetros do sistema (temperatura, humidade, abertura automática de portas, iluminação, entre outros) (Projeto MHS, 2014).

Por fim, depois de apresentados os três projetos considerados mais emblemáticos e com mais evidência na área de monitorização de Edifícios Históricos, é importante estabelecer, não só uma comparação entre eles, bem como esclarecer quais as inovações que se propõe realizar com o projeto adjacente a esta dissertação. É possível constatar diversos pontos em comum nos três projetos, evidenciando a complexa rede de sensores, que se constitui como a grande vantagem destes projetos. Porém, como poderá ser visto na bibliografia anexa, a implementação e a instalação destes sensores é consideravelmente elaborada e apenas realizável por um especialista. O dispositivo multi-sensor apresentado como resultado da presente dissertação pretende ultrapassar este obstáculo, tornando a operação deste sistema muito mais simples e rápida.





### 3 Arquitetura do Sistema de Monitorização

Os Edifícios Históricos carecem de necessidades de sustentabilidade particulares e, tendo por base o Capítulo 2, a solução do presente estudo passa pela implementação de um dispositivo compacto baseado num sistema de aquisição de dados ambientais, integrando a tecnologia de “Sistemas de Proximidade em Ambientes Fechados” ou simplificadaamente “Beacons”.

A nível conceptual estabeleceu-se determinadas funções que se pretende que o sistema execute, de forma a cumprir os objetivos anteriormente delineados, entre elas:

- Transmitir informações entre dispositivos e o computador, bem como para a internet;
- Emitir alertas que permitam monitorizar e agir em conformidade, mantendo o correto funcionamento do edifício;
- Ativar diversas ações relacionadas com os *Beacons*, transmitindo informações relevantes ao utilizador.

Um *Beacon* é um pequeno dispositivo que emite sinais através da tecnologia de BLE, conhecida também como Bluetooth 4.0. Esses sinais podem ser captados por aplicativos de smartphones e tablets, despoletando uma determinada ação na respetiva aplicação.

Os *Beacons* utilizam a tecnologia de BLE para detetarem a proximidade de outros dispositivos e transmitirem um número identificador único, que é então recebido pelo sistema operacional do dispositivo com o qual ele está a comunicar. Quando a comunicação é estabelecida, existem duas ações que podem ser realizadas pelo sistema:

- A ação passiva trata simplesmente de armazenar (na memória local ou noutra base de dados) a informação que aquela conexão se realizou;

- A ação ativa acontece quando essa comunicação inicia alguma atividade no dispositivo do utilizador, como enviar notificações, mudar o estado do sistema, iniciar alguma ação dentro de um aplicativo específico, entre outras, como ilustrado na Figura 3.1.

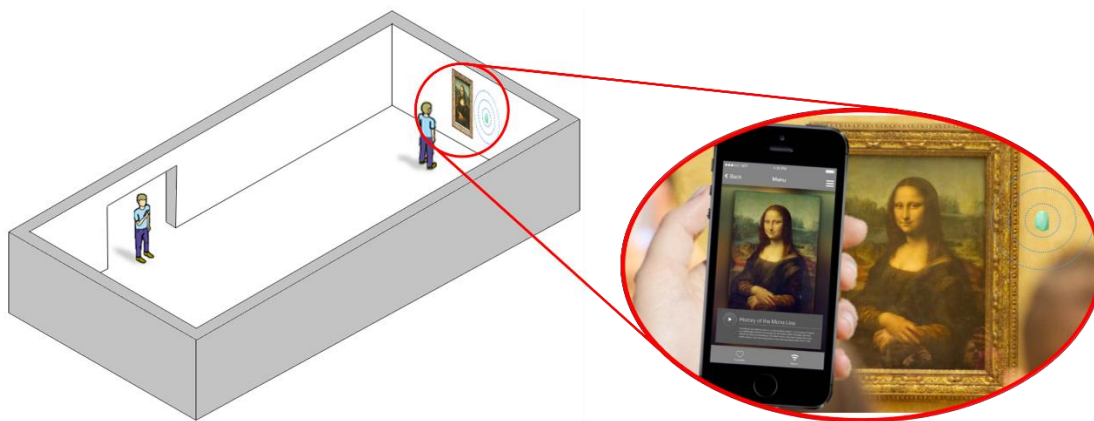


Figura 3.1: Ilustração da Utilização da Tecnologia de Beacons

Para evitar problemas de privacidade e de segurança da informação, é importante ressaltar que o smartphone nunca envia dados sobre o utilizador para o *Beacon*, além de que nunca transmite conteúdo aos utilizadores. O trabalho de inteligência é todo feito pela aplicação que está instalada no dispositivo do utilizador.

O sistema de monitorização desenvolvido através da plataforma “Arduino” permite receber e processar estes dados e enviá-los diretamente para um servidor web. Neste capítulo será apresentada a arquitetura desenvolvida, bem como os componentes físicos e funcionais que a constituem.

### 3.1 Descrição Conceptual da Arquitetura do Sistema

As especificações da arquitetura deste sistema têm por base o objetivo principal definido no Capítulo 2. Desta forma, a Figura 3.2 apresenta um diagrama que ilustra estas especificações, tendo em conta a centralização no utilizador comum, desenvolvendo-se um sistema com base num dispositivo multi-sensor, integrando um repositório *Cloud*.

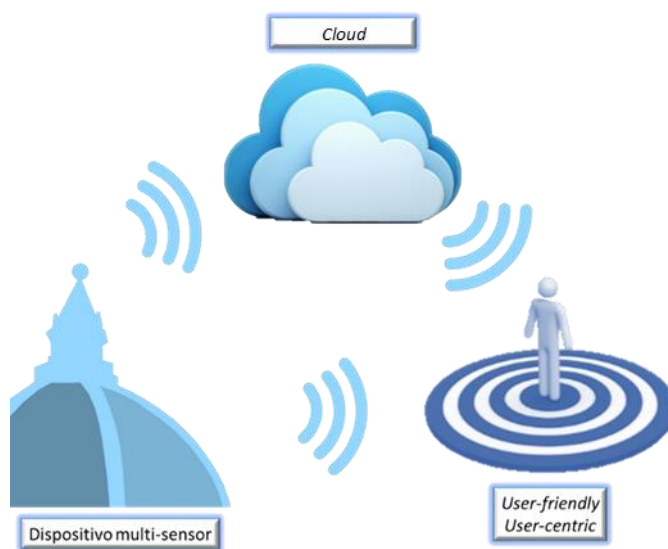


Figura 3.2: Diagrama Conceptual do Sistema Desenvolvido  
[Excerto da Imagem Adaptado de (Projeto SHBuildings, 2015)]

Em primeiro lugar, além de ser capaz de detetar movimento, o dispositivo multi-sensor implementado é responsável pela aquisição de dados ambientais, nomeadamente Temperatura e Humidade Relativa, bem como da quantidade de luz que incide sobre o dispositivo. Uma vez que se pretende instalar estes dispositivos em diversos pontos e divisões de cada edifício, uma monitorização constante resultará na necessidade de armazenar uma grande quantidade de informação. Nesse sentido introduz-se o conceito de “Internet das Coisas”, mais concretamente o conceito de repositório “Cloud”, onde o armazenamento de dados é realizado em servidores alojados na Internet e que, por esse motivo, permite que esses dados sejam acedidos a partir de qualquer dispositivo.

Por último, e no que diz respeito à centralização do sistema no utilizador, a integração da tecnologia dos *Beacons* permite que se implemente um sistema que interaja com o utilizador comum, tornando a experiência de visita a um determinado edifício histórico mais interessante do ponto de vista interativo.

Para o desenvolvimento deste dispositivo foi utilizada uma plataforma apta para recolher toda a informação proveniente dos sensores e imediatamente processá-la e enviá-la para o servidor. Nesse sentido, a escolha da plataforma passou por um Arduino, visto ser uma plataforma *open-source* de prototipagem dos mais variados projetos, baseada num *software* e num *hardware* de simples utilização e de custo reduzido.

O Arduino, para além de suportar diversos protocolos de comunicação, permite a interação entre as mais distintas funcionalidades, como a leitura de condições atmosféricas ou a deteção de movimento. A grande vantagem do sistema desenvolvido sobre esta plataforma diz respeito à possibilidade de mais tarde poder integrar neste mesmo sistema funcionalidades adicionais, inclusive, outros tipos de sensores. Outra característica que torna este sistema um “sistema aberto”, é o facto de que o próprio *software* desenvolvido é passível de ser modificado e parametrizável de acordo com as especificações pretendidas.

### 3.1.1 Plataforma

O projeto desenvolvido nesta dissertação foi desenvolvido e implementado num Arduino Yún, cuja placa é apresentada na Figura 3.3.

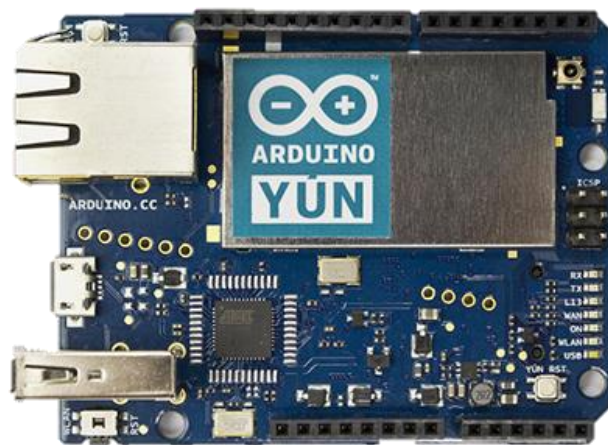


Figura 3.3: Arduino Yún (Arduino, n.d.-a)

A opção da plataforma a utilizar na implementação deste projeto recaiu sobre o Arduino Yún, visto que se trata de uma plataforma que concentra nela diversas especificações necessárias à realização deste trabalho, nomeadamente o ambiente Linux, o suporte para uma conexão via Ethernet e uma porta USB.

Como já foi referido, a integração da tecnologia de repositório *Cloud* neste sistema leva a que seja necessário que a plataforma se encontre constantemente ligada à Internet, possibilitando

desta forma que os dados recolhidos sejam continuamente armazenados na *Cloud* e disponibilizados para consulta em qualquer dispositivo. Nesse sentido, o Arduino Yún que já dispõe com uma entrada para Ethernet embutida, evita a necessidade da utilização de uma *shield* de Ethernet. Interligando este conceito de *Cloud Computing* com o Arduino Yún, bem como a utilização do sistema por parte do utilizador, é possível construir a rede ilustrada na Figura 3.4.

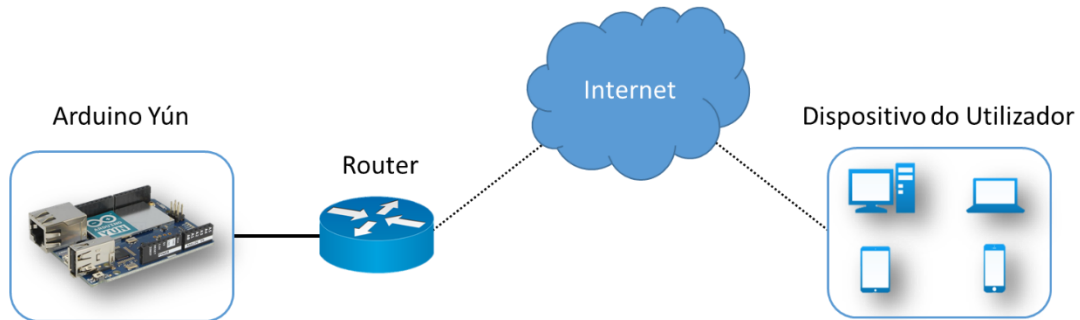


Figura 3.4: Arquitetura de Rede do Sistema Desenvolvido

Em termos de especificações, ilustradas de forma resumida na Figura 3.5 que se segue, o Arduino Yún é um microcontrolador baseado em dois processadores, o ATmega32u4 e o Atheros AR9331. Este segundo processador suporta a distribuição Linux baseado no *firmware* OpenWrt-Yun. É a interação entre estes dois processadores e a integração do ambiente Linux, juntamente com a existência de uma porta USB, que levou a que o Arduino Yún fosse a plataforma que melhor satisfazia os requisitos do sistema, nomeadamente na implementação dos *Beacons*.

Além do já referido suporte para conexão Ethernet e a porta USB, esta plataforma possui também suporte para ligações WiFi, uma *slot* para cartões microSD, 20 pins digitais input/output, permitindo que se conectem os pins dos diversos sensores (de entre os quais, 7 poderão ser utilizados para saídas PWM e 12 como entradas analógicas). Estas características estão apresentadas detalhadamente na Tabela 3.1.

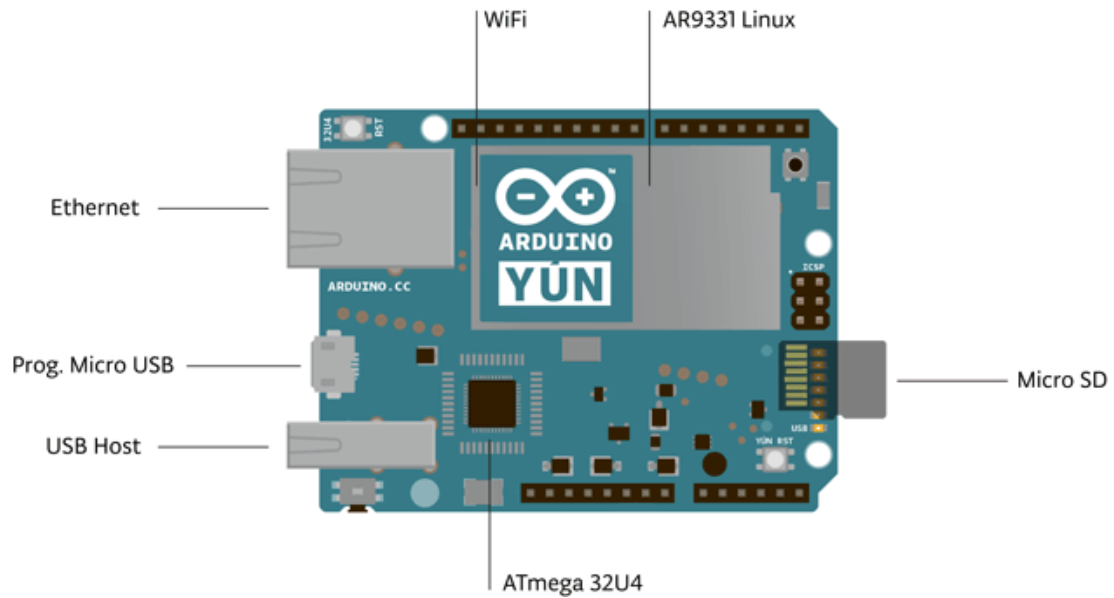


Figura 3.5: *Hardware* do Arduino Yún (Arduino, n.d.-a)

Uma vez que a placa deste modelo do Arduino tem dois processadores como referido anteriormente, apresentam-se de seguida a Tabela 3.1 e a Tabela 3.2 com as características de cada um dos processadores separadamente.

Tabela 3.1: Especificações do Microcontrolador Arduino AVR (Arduino, n.d.-a)

Microcontrolador	ATmega32U4
Tensão de Operação	5 V
Tensão de Entrada	5 V
Pins Digitais I/O	20
Canais PWM	7
Pins Analógicos de Entada	12
Corrente DC por cada pin I/O	40 mA
Corrente DC no Pin de 3,3V	50 mA
Memória Flash	32 KB (em que 4 KB são utilizados pelo <i>bootloader</i> )
SRAM	2,5 KB
EEPROM	1 KB
Velocidade de Clock	16 MHz

Tabela 3.2: Especificações do Microprocessador Linux (Arduino, n.d.-a)

Processador	Atheros AR9331
Arquitetura	MIPS @400 MHz
Tensão de Operação	3,3V
Ethernet	IEEE 802.3 10/100 Mbit/s
WiFi	IEEE 802.11b/g/n
USB Tipo-A	2.0 Host
Leitor de Cartões	MicroSD
RAM	64 MB DDR2
Memória Flash	16 MB
SRAM	2,5 KB
EEPROM	1 KB
Velocidade de Clock	16 MHz

### 3.1.2 Sensores para Aquisição de Dados

Com o objetivo de preservar retábulo, documentos, livros e outras peças de artesanato valiosas e com um elevado valor histórico, pretende-se fazer a medição das condições atmosféricas do meio envolvente a este património, registando o valor de temperatura (em graus Celsius) no ambiente interior do edifício, bem como os valores que dizem respeito aos fatores de percentagem de humidade relativa e de luminosidade. Tendo em conta o fornecedor, o custo e os parâmetros de cada sensor e ainda se a gama de cada um se adequava ao que seria expectável no interior de um edifício histórico, para o desenvolvimento deste trabalho, a escolha recaiu sobre os sensores LM35, HIH-4000-001 e VT935G, no que diz respeito a temperatura, humidade e luminosidade, respetivamente.

Existindo neste tipo de edifício determinadas peças de um valor incalculável, pretende-se uma supervisão das mesmas e que estas estejam protegidas contra extorsões. Nesse sentido, integrou-se neste sistema um sensor de movimento, que para além da função anteriormente referida, pretende-se igualmente tornar o edifício energeticamente mais eficiente, na medida em que a iluminação está relacionada com a presença de alguém. A escolha passou pelo sensor EKMC1603111, tendo por base o amplo ângulo de deteção do mesmo.

Tendo por objetivo testar a tecnologia dos *Beacons*, implementou-se através de um Adaptador Bluetooth conectado ao Arduino via USB um protótipo de uma aplicação que, com base

nos fundamentos desta tecnologia, permita ao utilizador experienciar uma visita diferente e inovadora no espaço do edifício em questão. Pretende-se assim uma diferente interação com o utilizador, com o objetivo de o tornar parte integrante do edifício, além da consciencialização da importância da preservação dos edifícios históricos. A escolha deste adaptador passou por um dispositivo Bluetooth com uma versão 4.0, integrando assim a tecnologia de BLE. Integrando todos os sensores e dispositivos utilizados no desenvolvimento deste sistema, é implementada a rede de sensores ilustrada na Figura 3.6.

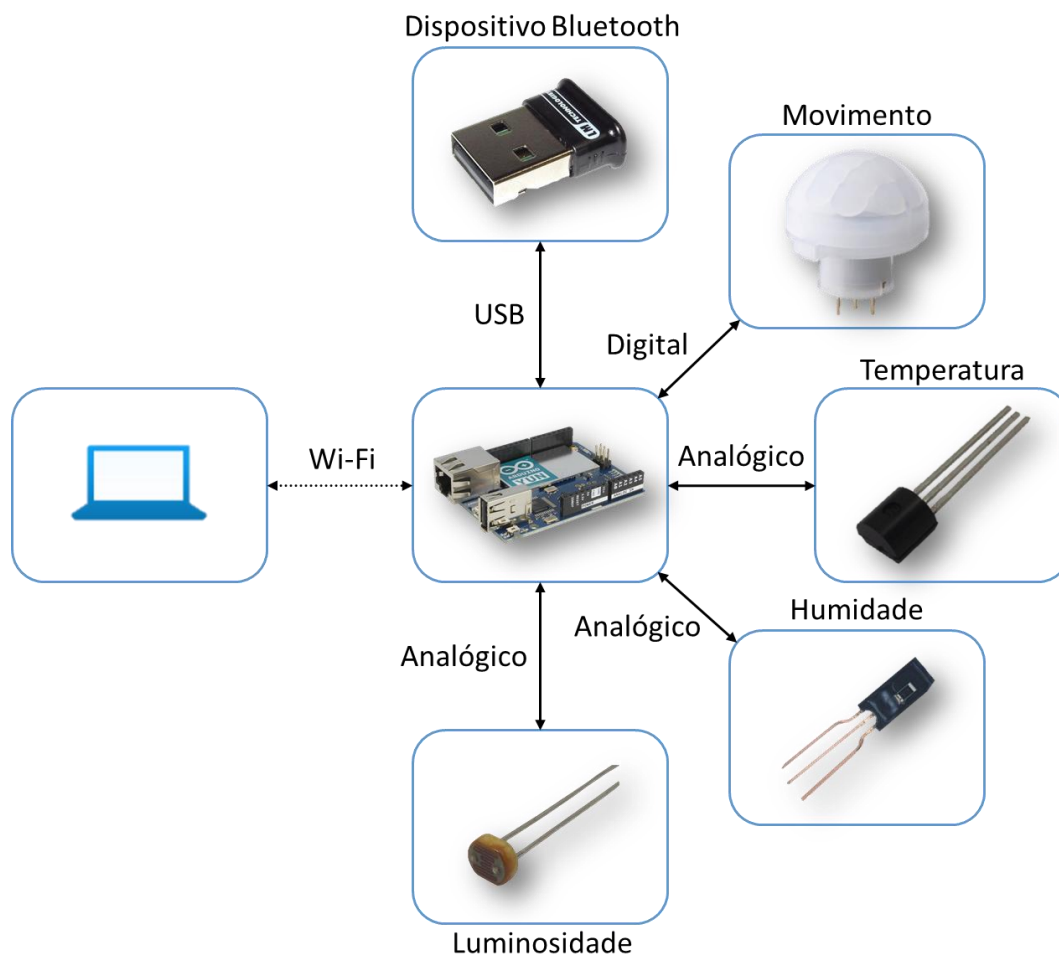


Figura 3.6: Componentes do Sistema Desenvolvido

As especificações de cada um dos sensores e dispositivos utilizados encontram-se resumidas de seguida.

- **Sensor de Temperatura:** para fazer a recolha dos dados referentes à temperatura ambiente, foi escolhido o sensor LM35 da Texas Instruments (modelo LM35DZ/NOPB representado na Figura 3.7) tratando-se de um circuito integrado, cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura. Neste caso, a tensão



de saída terá uma variação entre 0 e 5 V, uma vez que a alimentação da placa de Arduino é de 5 V. Este sensor está calibrado para uma variação de 10 mV da tensão de saída por cada grau Celsius. A baixa impedância de saída, a saída linear e uma calibração precisa inerente ao sensor, faz com que as interfaces de leitura e os circuitos de controlo sejam simples de implementar. Este sensor tem perdas por Efeito de Joule muito pequenas, consumindo 60 mA, o que faz com que aqueça menos do que 0,1 °C.



Figura 3.7: Sensor LM35DZ/NOPB (Farnell, n.d.-b)

- **Sensor de Humidade:** O sensor utilizado para realizar a medição da humidade relativa no ar foi o HIH-4000-001 (Figura 3.8) da Honeywell. O HIH-4000-001 é ideal para uma utilização de baixo consumo e a sua tensão de saída linearmente dependente da humidade permite uma calibração precisa (cada sensor da série HIH-4000 tem a sua calibração específica, conforme o respetivo catálogo). A construção através de múltiplas camadas do elemento capacitivo de polímero termorrígido proporciona uma excelente resistência à maioria dos riscos de aplicação, como água, poeira, óleos e outros produtos químicos ambientais comuns.

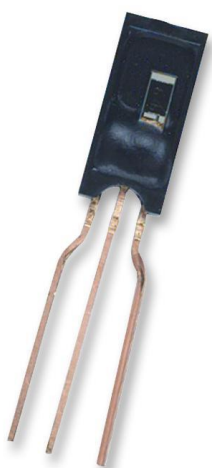


Figura 3.8: Sensor HIH-4000-001 (Farnell, n.d.-a)

- **Sensor de Luminosidade:** com o objetivo de medir a luminosidade presente no local, mais concretamente a iluminância, testou-se o sistema com um sensor do tipo LDR (sigla de *Light Dependent Resistor*, em português, Resistência Dependente da Luz, também conhecido como um fotoresistor). O sensor VT935G, apresentado na Figura 3.9, é uma célula fotocondutora encapsulada num dispositivo de cerâmica. É fabricado com materiais semicondutores, possuindo elevada resistência. Numa total ausência de luz, a resistência do LDR (conhecida como “dark resistance”) será igual a  $1\text{ M}\Omega$  e à medida que a intensidade da luz aumenta, a sua resistência diminui. Este sensor é sensível a uma vasta gama de intensidade luminosa, desde o luar (resistência muito alta) até à luz solar (resistência muito baixa). Tratando-se de uma resistência, então como auxílio a outra resistência é possível medir a variação de tensão que ocorre nos terminais da segunda resistência influenciada pelo LDR. Não tendo este sensor uma saída linear, com auxílio a um fotómetro, realizou-se a calibração deste fotoresistor, apresentada detalhadamente no Capítulo 4.



Figura 3.9: Sensor VT935G (Farnell, n.d.-c)

- **Sensor de Movimento:** para além dos sensores responsáveis pela recolha de determinados dados atmosféricos, neste sistema implementou-se também um sensor de movimento e para isso foi utilizado o sensor EKMC1603111 (Figura 3.10) da Panasonic. Este dispositivo é um sensor de movimento do tipo PIR (Passive Infra-red) de longa distância (aproximadamente 12 metros no máximo), produzido com matérias piroelétricos. Este sensor deteta a mudança na radiação infravermelha que ocorre quando há um movimento de uma pessoa ou de um objeto, através da variação de temperatura circundante. O sensor de movimento é usado principalmente na iluminação, dispositivos antirroubo, eletrodomésticos, entre outros.



Figura 3.10: Sensor EKMC1603111 (Panasonic Eco Solutions Company, 2012)

- **Módulo Bluetooth:** por último, depois dos sensores acima descritos, no sentido de integrar neste sistema uma tecnologia capaz de simular a tecnologia comumente designada por “Beacons”, desenvolveu-se um sistema utilizando um módulo USB Bluetooth. O adaptador utilizado foi o LM506 (Figura 3.11) da LM Technologies

e é um dispositivo de longo alcance, projetado para ser totalmente compatível com o padrão Bluetooth 4.0. Trata-se de um adaptador HCI de modo dual, suportando o padrão Bluetooth 3.0 e BLE, permitindo assim a conexão a dispositivos com estas tecnologias. Utilizando diretamente a porta USB da placa do Arduino Yún, bem como o ambiente Linux que o mesmo suporta, é possível programar a placa para que, com o módulo Bluetooth, seja possível simular um “Beacon”.



Figura 3.11: Módulo LM506 (LM Technologies, n.d.)

## 4 Desenvolvimento do Sistema Multi-Sensor

No Capítulo 4 desta dissertação é descrito todo o trabalho desenvolvido e executado com vista ao cumprimento dos objetivos inicialmente propostos. Numa primeira parte, destaca-se a implementação eletrónica dos sensores, que constitui assim a maior parte do trabalho desenvolvido no que diz respeito ao *hardware* do sistema.

Após a abordagem à integração do Arduino com a componente eletrónica desenvolvida, a fase seguinte deste capítulo diz respeito à necessidade de enviar os dados para a web e guardá-los numa base de dados alojada no servidor.

Para finalizar, aborda-se a implementação dos módulos USB de Bluetooth, que se traduz na simulação da tecnologia de *Beacons*.

### 4.1 Implementação do Sistema Multi-Sensor

Para o desenvolvimento do dispositivo multi-sensor foi necessária uma primeira abordagem de implementação ao nível eletrónico, construindo assim um sistema de sensores numa placa de ensaio. Posteriormente, pins específicos de saída de cada um dos sensores utilizados serão conectados à placa de Arduino, para que este possa realizar a recolha dos dados respetivos e assim enviar e guardar os mesmos num servidor.

#### 4.1.1 Implementação dos Sensores em Circuitos Elétricos

Numa primeira fase do trabalho, depois de selecionar quais os sensores que iriam ser implementados neste sistema, procedeu-se à montagem dos circuitos elétricos numa placa de ensaio

consoante o recomendável nos catálogos dos respetivos sensores, apresentada nos subcapítulos que se seguem.

#### 4.1.1.1 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura, diretamente calibrado para a variação de temperatura em graus Celsius, foi implementado com o objetivo de recolher dados sobre a temperatura ambiente do local onde se encontra.

A nível de circuito elétrico, a sua implementação é extremamente simples. Segundo o catálogo do sensor de temperatura LM35 da Texas Instruments (Texas Instruments, 2000), existem duas configurações possíveis para medir a temperatura, consoante a gama de valores de temperatura em graus Celsius que se deseja mensurar. Uma vez que se trata de um sistema que pretende medir determinados fatores num ambiente interior de um edifício histórico, decidiu-se apenas pela implementação mais simples, que resulta numa gama de valores de leitura da temperatura entre os 2 e os 150 °C, contemplando logicamente os valores esperados num edifício deste género.

Sendo assim, não é necessário qualquer componente eletrónico adicional a este sensor para medir a temperatura. Desta forma, o sensor foi implementado segundo a aplicação típica ilustrada na Figura 4.1.

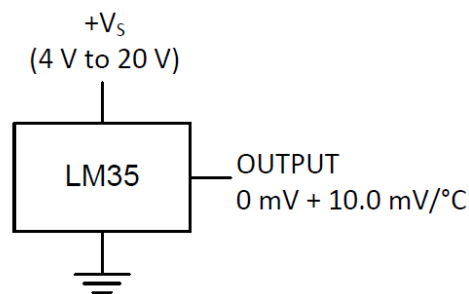


Figura 4.1: Implementação do Sensor de Temperatura LM35 (Texas Instruments, 2000)

#### 4.1.1.2 Sensor de Humidade Relativa

O sensor de Humidade HIH-4000-001 da Honeywell permite medir a percentagem de humidade relativa presente no ar que rodeia o sistema, tendo no seu pin de saída uma tensão linearmente proporcional a este valor de percentagem de humidade relativa.

Da mesma forma que foi implementado o sensor de temperatura, também para o sensor de humidade se recorreu ao catálogo do sensor respetivo para se proceder à montagem do circuito elétrico, permitindo o correto condicionamento de sinais e, assim, a correta leitura de percentagem de humidade relativa, tendo em conta a tensão de saída correspondente.

No que diz respeito à montagem do circuito elétrico, este por sua vez, comparado com o sensor de temperatura, é ligeiramente mais complexo como poderá ser observado pela Figura 4.2.

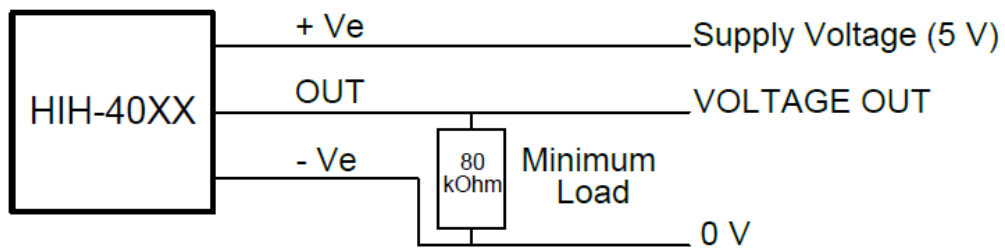


Figura 4.2: Implementação do Sensor de Humidade HIH-4000-001 (Honeywell, 2010)

#### 4.1.1.3 Sensor de Luminosidade

No sentido de se medir a iluminância com que um determinado local está sujeito, utilizou-se um sensor de luminosidade, mais concretamente um fotoresistor (LDR). Foi utilizado o modelo VT935G da Excelitas Tech e, ao contrário dos dois primeiros sensores, o catálogo fornecido pelo fabricante deste componente não sugere qualquer aplicação num circuito elétrico, pelo que este foi desenvolvido com base na Figura 4.3.

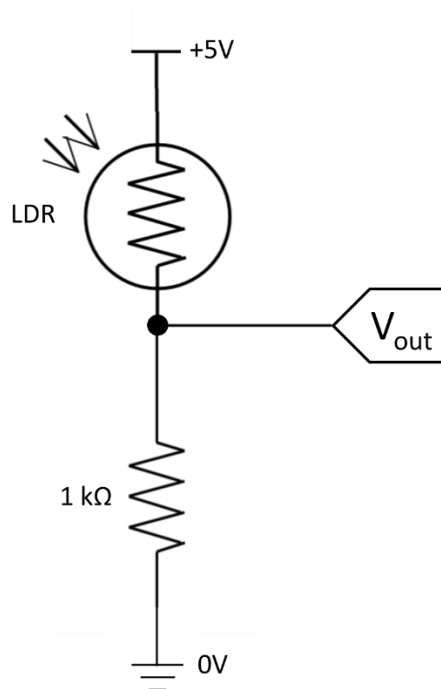


Figura 4.3: Implementação do Sensor de Luminosidade (LDR)

Colocando uma resistência em série com o fotoresistor, obtém-se um ponto intermédio entre ambas onde, através do divisor de tensão, é possível medir um valor de tensão ( $V_{out}$ ) que

varia de acordo com a intensidade de radiação eletromagnética do espectro visível que incide sobre o LDR.

Como ambas as resistências estão em série, a corrente que as atravessa é a mesma. A resistência do LDR diminui com o aumento da intensidade luminosa, pelo que a corrente que flui através deste (e consequentemente através da resistência fixa) diminui. Por conseguinte, através da Lei de Ohm, descrita na Equação (4.1), infere-se que a queda de tensão na resistência inferior aumenta.

$$I = \frac{U}{R} \quad (4.1)$$

Assim, da mesma forma que o valor da resistência do fotoresistor varia com a intensidade luminosa, sendo a tensão  $V_{out}$  a queda de tensão aos terminais da resistência fixa, também esta tensão  $V_{out}$  será influenciada. Com a alimentação do circuito a 5 V, aplicando o divisor de tensão na resistência fixa  $R_1$ , segundo a Equação (4.2) é possível calcular o valor da tensão de saída em função do valor das duas resistências:

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_{LDR}} \times 5 \quad (4.2)$$

Uma vez calculado o valor de tensão, determina-se o valor correspondente de iluminância através das Equações (4.9) e (4.10).

#### 4.1.1.4 Sensor de Movimento

Como já foi referido no Capítulo 3, o sensor de movimento escolhido na implementação deste dispositivo foi um sensor da Panasonic da série EKMC, o EKMC1603111. Este tipo de sensores, os PIR (em português, infravermelho passivo), constituídos por elementos de um material sensível à radiação infravermelha, poderão ter dois tipos de saída: analógico ou digital. A saída do sensor utilizado é digital, pelo que o estado do sensor indica se se detetou movimento ou não, consoante a saída do mesmo seja “High” ou “Low”, respetivamente.

Uma vez que os valores “High” e “Low” correspondem respetivamente a 5 e a 0 V, optou-se por conectar diretamente o pin de saída do sensor de movimento a um dos pins de entrada da placa do Arduino. Segundo a documentação referente às “Constants” do Arduino (Arduino, n.d.-b), a leitura deste pin de entrada do Arduino retornará o valor de “High” quando à sua entrada for ultrapassado um valor de 3 V, pelo que se manterá a “Low”, abaixo desse valor de tensão. Após a informação recebida de que o pin se encontra a “High”, é enviada uma instrução para que seja ativada a iluminação. Para testar o sistema, utilizou-se o led L13 da placa Arduino para exemplificar o que se sucede após a deteção de movimento.



#### 4.1.2 Integração e Implementação do Sistema em Arduino

Posteriormente à instalação dos sensores na placa de ensaio, procedeu-se à integração deste sistema elétrico com a placa do Arduino. Enquanto o primeiro permite a aquisição de dados, o Arduino, por sua vez, permite o processamento dos dados recebidos de cada um dos sensores e a interação com o utilizador, através do envio e armazenamento dos mesmos no servidor web.

O sistema programado no ambiente de desenvolvimento do Arduino permite realizar a leitura de diferentes entradas da placa física do Arduino, tanto analógicos como digitais, e são corridas determinadas funções, para que seja possível fazer a apresentação correta dos dados recolhidos e uma conveniente interação com o utilizador.

No sentido de ilustrar o código desenvolvido, é apresentado na Figura 4.4 o fluxograma que representa esquematicamente a sequência operacional do desenvolvimento do processo inicial de arranque do sistema, responsável pela “preparação” do programa e de determinadas variáveis, para seguidamente ser possível executar as funções responsáveis pela leitura dos sensores de temperatura, de luminosidade e de humidade, bem como o estado do sensor de movimento.

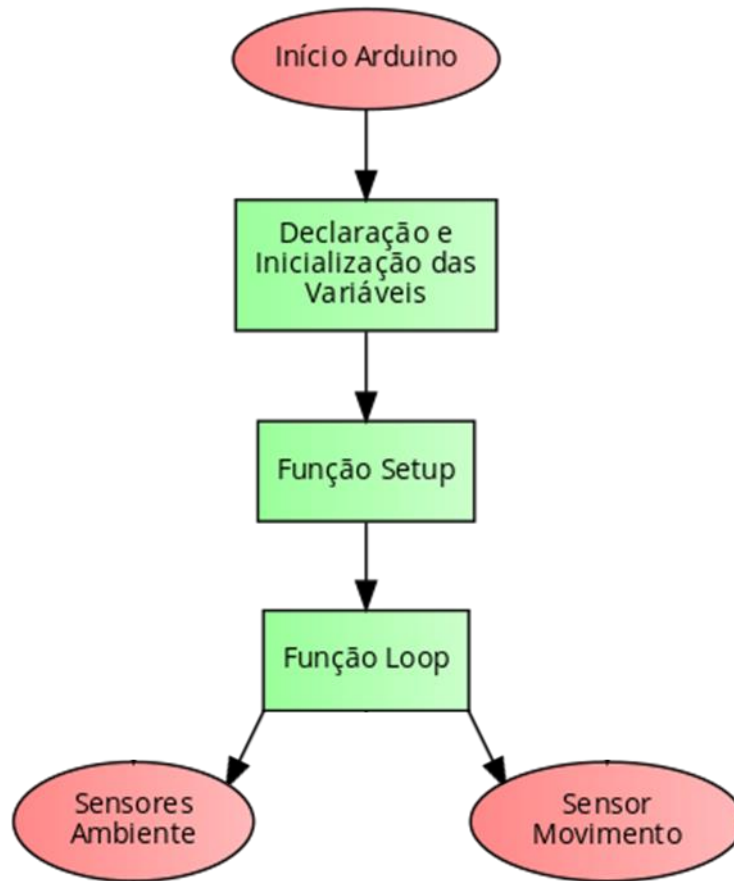


Figura 4.4: Fluxograma do Processo Inicial do Sistema

Depois de declaradas e inicializadas as primeiras variáveis, bem como executada a função principal de “Setup”, a função “Loop” é responsável pela execução “em paralelo” das duas funções “SensoresAmbiente” e “SensorMotion”. Na realidade, a execução destas duas funções não é exatamente em simultâneo, uma vez que este ambiente do Arduino não permite a existência de *threads* (em português, linha ou contexto de execução).

O conceito de *threads* permite que o sistema execute duas ou mais tarefas paralelamente. No caso do sistema desenvolvido, as “*threads*” que foram programadas permitem que o programa agende com um determinado tempo fixo a execução de uma determinada tarefa. Na prática, o programa executa sequencialmente a recolha de dados provenientes dos sensores de temperatura, humidade e de luminosidade e monitoriza o movimento através do respetivo sensor. Este processo é realizado através da função do Arduino “*millis*”, que permite ao sistema verificar se já se esgotou o intervalo de tempo configurado (0 segundos para o sensor de movimento e 30 segundos para os restantes) entre uma execução e a próxima de uma determinada instrução. Permite assim

que o programa execute todas as instruções de forma sequencial, sem se introduzir nenhuma pa-  
ragem no programa à espera da informação dos sensores, estando constantemente a monitorizar  
o movimento em torno do dispositivo.

No seguimento da Figura 4.4, na qual se encontra representado o esquema que permite ao  
sistema dar início ao processo de monitorização, surge à sua saída duas funções específicas res-  
ponsáveis por essa mesma monitorização. Em primeiro lugar, a função responsável pela leitura  
dos sensores de temperatura, de humidade e de luminosidade, esquematicamente representada no  
fluxograma da Figura 4.5. Uma vez que a recolha de dados provenientes destes três sensores é  
realizada para todos de forma idêntica, o fluxograma resume este processo de forma geral para os  
três sensores. Posteriormente ao tratamento individual desses dados, o processamento dos mes-  
mos é realizado de forma análoga, concluindo-se este processo com o envio e armazenamento  
dos dados no servidor web. Em segundo lugar, a Figura 4.8 representa a implementação realizada  
para a recolha de informação proveniente do sensor de movimento.

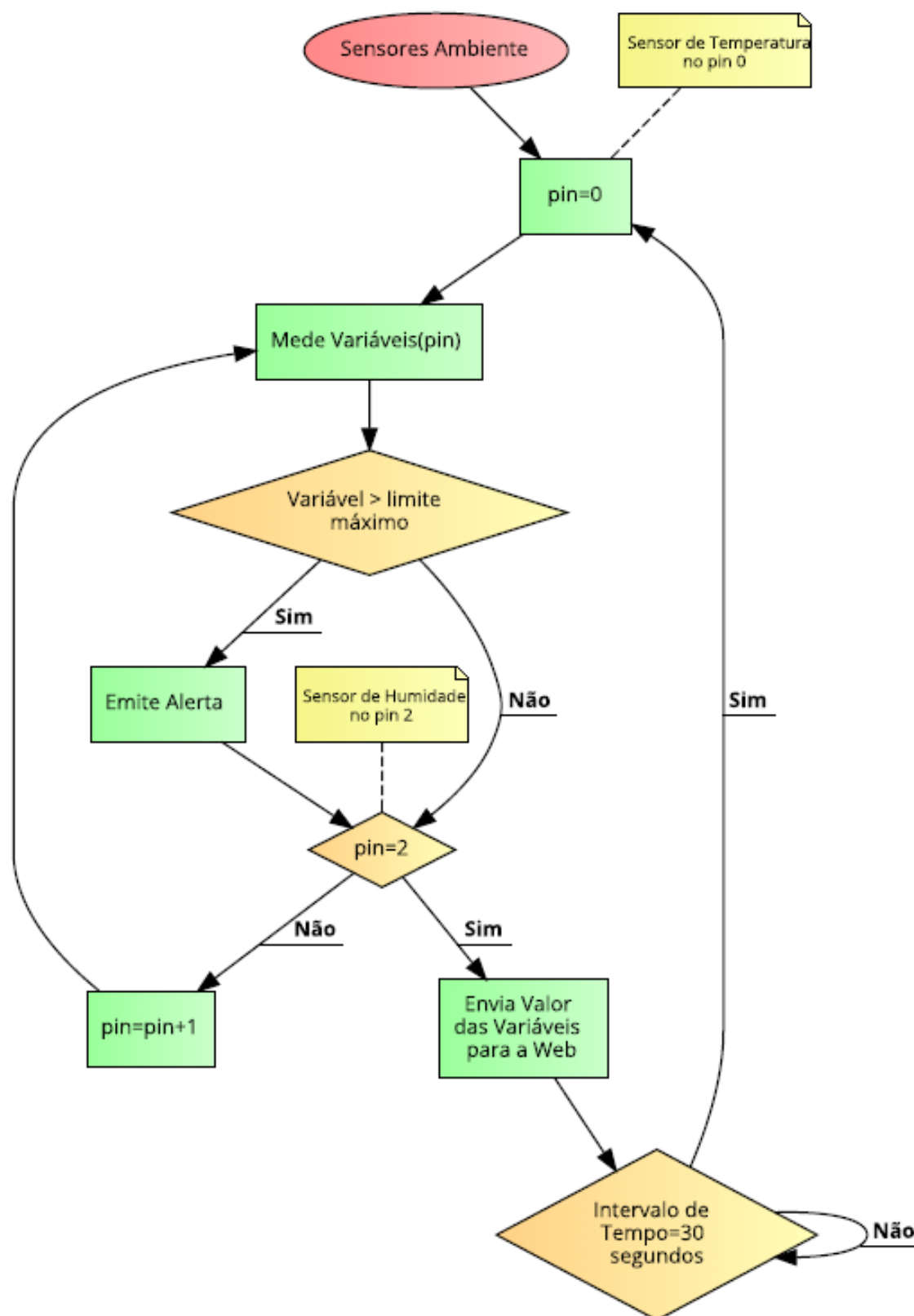


Figura 4.5: Fluxograma do Processo Geral dos Sensores Ambientais

Nas secções que se seguem são apresentadas as expressões desenvolvidas e utilizadas para que, consoante as leituras realizadas pelo Arduino, este apresente o valor correto dos dados recolhidos através de cada um dos sensores.

#### 4.1.2.1 Sensor de Temperatura

Com o objetivo de recolher dados referentes à temperatura, e assim poder monitorizar e atuar em conformidade segundo as especificações e particularidades associadas aos edifícios históricos, após a escolha do sensor LM35 e à implementação do mesmo na placa de ensaio, desenvolveu-se o código no *software* de desenvolvimento do Arduino. O processo responsável pela leitura dos dados de temperatura encontra-se ilustrada no fluxograma da Figura 4.6.

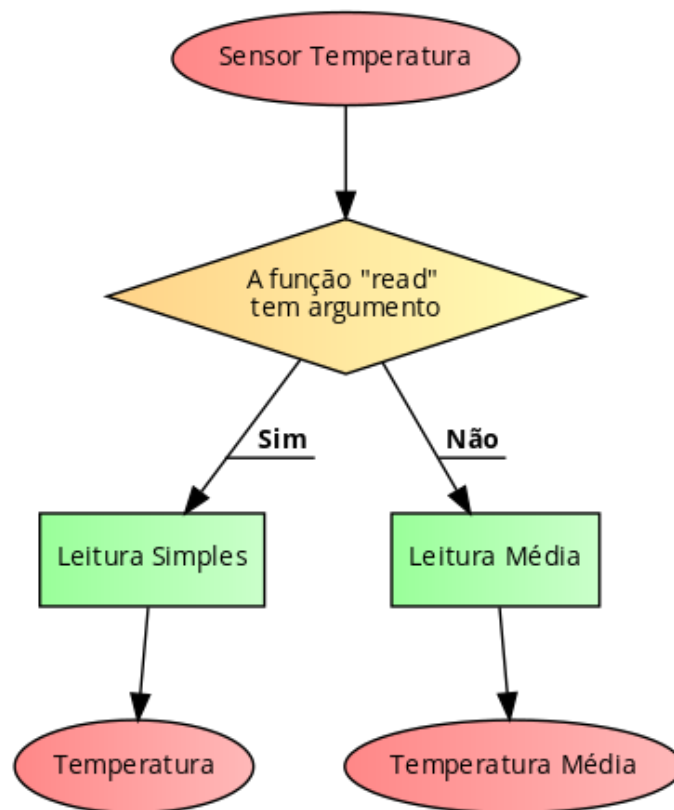


Figura 4.6: Fluxograma do Processo de Leitura do Sensor de Temperatura

No caso de ser utilizada a função *read( )* para realizar a leitura de temperatura, é então realizada e retornada apenas uma única leitura do sensor de temperatura. Esta leitura será simplesmente calculada através da Equação (4.3), em que se realiza a conversão do valor lido pelo Arduino para o correspondente valor de temperatura em graus Celsius.

$$Temperatura = \frac{(5 \times Valor_{arduino}) \times 100}{1024} \quad (4.3)$$

Tendo em conta a equação anterior:

- O valor 5 refere-se à tensão de alimentação do Arduino de 5 V;
- O valor 1024 refere-se aos  $2^{10}$  valores possíveis provenientes dos 10 bits especificados no Arduino Yún.
- O valor 100 surge de acordo com o catálogo deste sensor, por cada 10 mV da tensão de saída, corresponde 1 °C, pelo que é necessário efetuar uma divisão por 10 (milivolts) na Equação (4.3); uma vez que teremos de dividir milivolts por milivolts, converte-se o valor de 5 V para 5000 mV, ou seja,  $\frac{5 \times 1000}{10} = 100$ .

A função *read(times)*, em que “times” é a especificação dada pelo utilizador do número de leituras que se desejam efetuar, retorna a média aritmética dessas leituras. Esta função, mais precisa em comparação com a anterior no que diz respeito à leitura da temperatura, está representada no fluxograma da Figura 4.7.

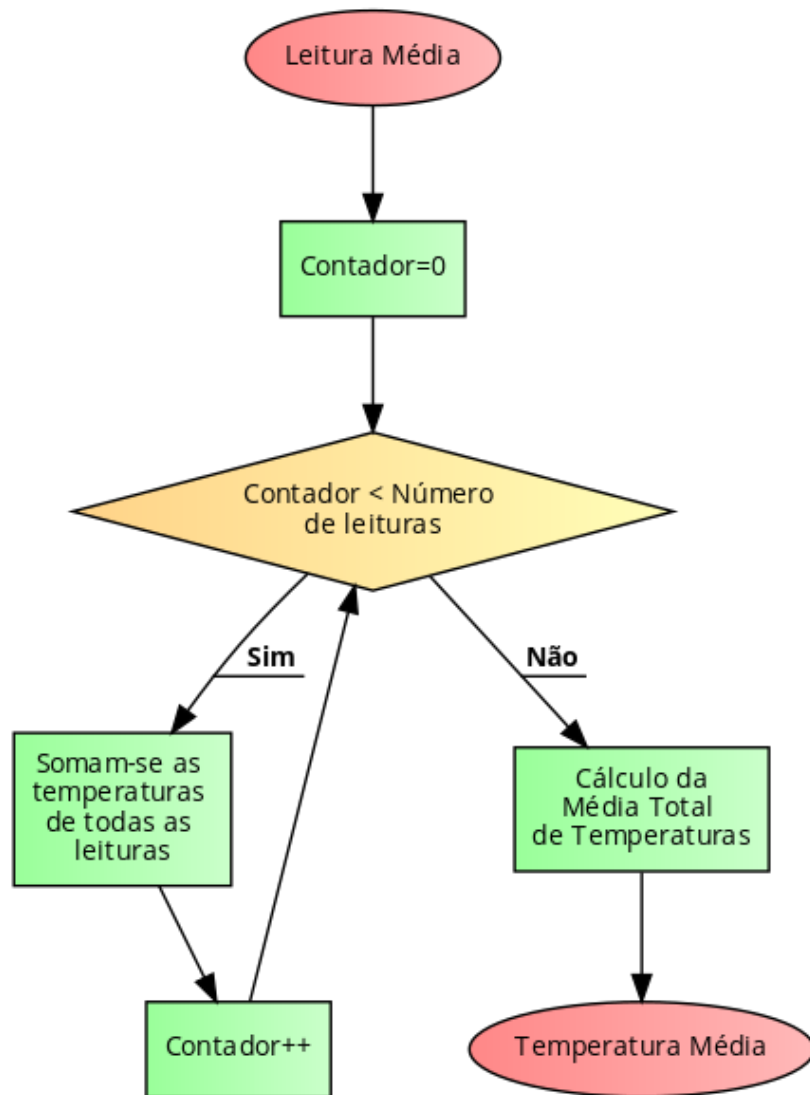


Figura 4.7: Fluxograma do Processo de Leitura Média da Temperatura

O valor correto da temperatura é calculado através da mesma Equação (4.3) utilizada para a leitura simples da temperatura. Neste caso, obtém-se um determinado valor de temperatura calculando a média aritmética dos diferentes valores recolhidos, consoante o número de vezes em que se realiza a leitura do sensor especificado pelo utilizador.

Com o objetivo de traçar uma reta de tensão em função da temperatura, considerando uma gama de valores abrangente (e desta forma construir uma função mais precisa), procedeu-se ao arrefecimento do sensor até uma temperatura sensivelmente próxima dos 9 °C e posteriormente realizou-se a medição da temperatura ambiente de forma gradual até se atingir aproximadamente os 27 °C.

O Gráfico 4.1 que se segue demonstra o andamento da tensão de saída do sensor, em função da temperatura a que o sensor está sujeito.

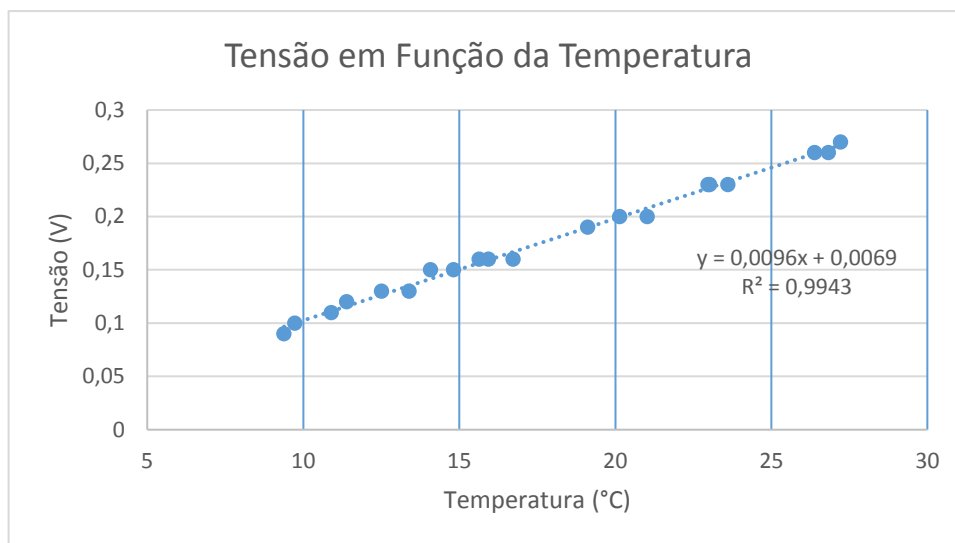


Gráfico 4.1: Tensão de Saída do Sensor LM35 em função da Temperatura

Desta forma constrói-se uma reta de calibração, cuja função de transferência é dada pela Equação (4.4), em que, dada uma tensão (variável das ordenadas no gráfico acima, que pode ser medida com um voltímetro por exemplo), é possível calcular por meio da equação da mesma, o valor correspondente de temperatura e vice-versa.

$$y = 0,0096x + 0,0069 \quad (4.4)$$

#### 4.1.2.2 Sensor de Humidade Relativa

De maneira análoga ao que foi implementado em relação ao sensor de temperatura, para o sensor de Humidade Relativa, o HIH 4000-001, foi desenvolvido um código em Arduino com base no catálogo do produtor deste sensor, realizando assim as operações necessárias à correta leitura dos dados provenientes do mesmo. A Tabela 4.1 apresenta as expressões de conversão utilizadas no código implementado.



Tabela 4.1: Especificações e Expressões de Conversão do Sensor HIH 4000-001  
(Honeywell, 2010)

<b>Model</b>	<b>HIH-4000-001</b>
Channel	92
Wafer	030996M
MRP	337313
Calculated values at 5 V V <sub>out</sub> @ 0 %RH V <sub>out</sub> @ 75.3 %RH	0.958 V 3.268 V
Linear output for 2 %RH accuracy @ 25 °C Zero offset Slope RH	0.958 V 30.680 mV/%RH (V <sub>out</sub> -zero offset)/slope (V <sub>out</sub> -0.958)/0.0307
Ratiometric response for 0 % to 100 %RH V <sub>out</sub>	V <sub>supply</sub> (0.1915 to 0.8130)

A linha delimitada pelo retângulo verde na Tabela 4.1 destaca os valores e as expressões utilizadas na implementação do *software* que diz respeito ao sensor de humidade relativa.

Da mesma maneira que é realizado para todos os sensores, a leitura do pin de saída do HIH é traduzida por um determinado valor de tensão. Dado esse valor de tensão, é necessário realizar a conversão para um valor proporcional de percentagem de humidade relativa. O valor de tensão de saída do sensor é traduzido para um determinado valor correspondente, calculado através da Equação (4.5) numa escala de 0 a 1023 (proveniente da especificação de 10 bits do Arduino, a que correspondem  $2^{10}$  valores, como já referido anteriormente).

$$U_{out} = \frac{Valor_{arduino}}{1023} \times 5 \quad (4.5)$$

Sendo assim, depois de realizar a leitura desse valor do Arduino, é necessário convertê-lo para um valor de tensão equivalente. De acordo com a Equação (4.5), o cálculo da tensão que corresponde ao valor lido do Arduino é realizado através de uma regra de três simples, em que o valor digital de 1023 corresponde a um valor analógico de 5 V. Após obter o valor de tensão, utiliza-se a Equação (4.6) para traduzir esse valor num valor percentual de humidade relativa (%RH). De acordo com o catálogo disponibilizado pelo fornecedor (Honeywell, 2005) e de acordo com a Tabela 4.1, cujos valores são igualmente retirados do mesmo catálogo, calcula-se o valor de humidade relativa da seguinte forma:

$$\%RH = \frac{U_{out} - zero_{offset}}{slope} \quad (4.6)$$

$$\Leftrightarrow \%RH = \frac{U_{out} - 0,958}{0,0307}$$

em que,

- RH é Humidade Relativa dada em percentagem
- $V_{out}$  é a tensão de saída do sensor de humidade
- $Zero_{offset}$  é o valor de tensão para 0 % de humidade relativa, sendo igual a 0,958 V
- Slope é o declive da reta de tensão em função da humidade relativa e é dado por 30.680 mV/%RH.

Segundo o catálogo do sensor utilizado na implementação deste sistema, HIH-4000 com um número de série de 001 (Honeywell, 2005), e tendo em conta os valores de tensão iguais a 0,958 V e a 3,268 V, correspondendo a 0 % e a 75,3 % de humidade relativa, respetivamente, foi construído o Gráfico 4.2 abaixo apresentado, tendo ainda em conta a Equação (4.6).

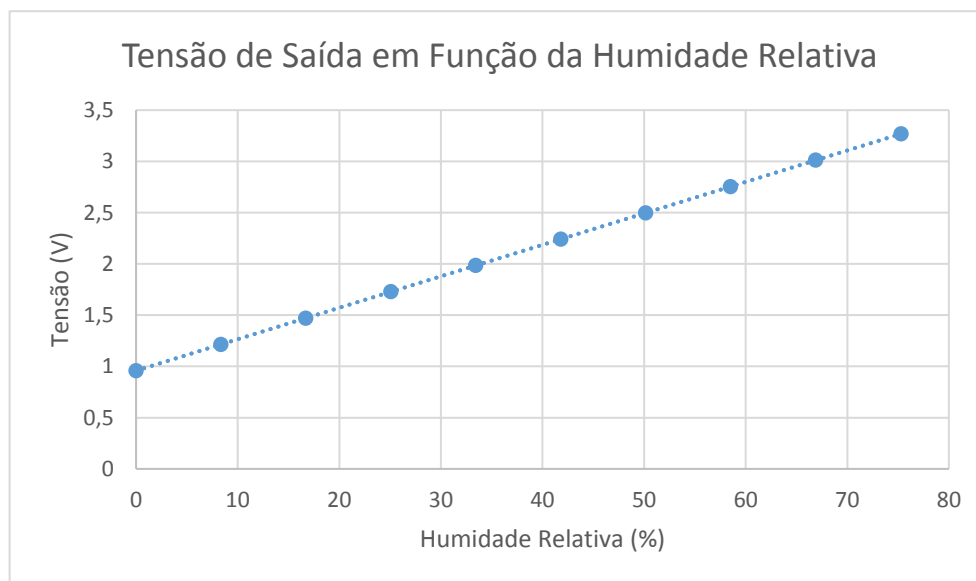


Gráfico 4.2: Tensão de Saída do Sensor HIH-4000-001 em função da percentagem de Humidade Relativa

É necessário notar que os sensores têm um determinado erro associado, pelo que os valores de “Zero Offset” e de “Slope” poderão não ser exatamente iguais àqueles que são dados no catá-

logo. De facto, este mesmo catálogo não disponibiliza informação necessária à calibração individual de cada um dos sensores, pelo que, os valores utilizados foram os descritos na Equação (4.6), no caso dos dois utilizados em ambos os dispositivos multi-sensores.

Da mesma forma que foi calculado para o sensor de temperatura, ainda que apenas teoricamente, sem que tenham sido realizados quaisquer testes, constrói-se assim uma reta de calibração que permite calcular o valor da percentagem de humidade relativa presente no ambiente que rodeia o sistema, medindo apenas a tensão de saída correspondente.

#### 4.1.2.3 *Sensor de Luminosidade*

Como foi referido neste capítulo, a informação presente no catálogo deste sensor é limitada no que diz respeito, não só à montagem do circuito elétrico associado, mas também em relação às equações associadas às conversões de valores entre tensão e luminosidade. Nesse sentido, foi desenvolvido uma reta de calibração para cada um dos sensores utilizados em ambos os dispositivos implementados com auxílio a um luxímetro.

Este aparelho, que mede em lux, a quantidade de luz recebida, juntamente com o valor de tensão recolhido através do fotoresistor, permite traçar uma reta de calibração e, assim, medir qualquer valor de luminosidade com o fotoresistor.

O processo anteriormente referido inicia-se com a medição da intensidade da luz com o luxímetro e do respetivo valor de tensão apresentado pelo LDR, resultando na recolha de 14 valores correspondentes a diferentes intensidades de luz. Os resultados obtidos encontram-se representados na Tabela 4.2 e na Tabela 4.3, onde a grandeza de Entrada deste sistema diz respeito à intensidade luminosa e a Saída, por sua vez, à tensão gerada na saída do LDR.

Tabela 4.2: Tensão de Saída do LDR do Dispositivo 1 em Função da Luminosidade

Entrada (Lux)	Saída (V)
33,25	0,448
83,4	0,776
130,9	1,014
191,3	1,241
256,9	1,442
360	1,707
433	1,852

Entrada (Lux)	Saída (V)
659	2,21
1104	2,63
1837	3,09
2610	3,35
3520	3,6
5750	3,81
6470	3,96

(continuação da Tabela 4.2)

Tabela 4.3: Tensão de Saída do LDR do Dispositivo 2 em Função da Luminosidade

Entrada (Lux)	Saída (V)
31,5	0,351
71,1	0,643
177,9	1,106
294,2	1,484
384	1,668
556	2,02
765	2,3
964	2,49
1448	2,93
2496	3,38
3060	3,48
3740	3,62
4420	3,7
6290	3,92

Os valores das tabelas anteriores são apresentados no Gráfico 4.3 e no Gráfico 4.4 respectivamente, onde é possível constatar uma linha de tendência logarítmica em ambos, cujas respectivas equações são apresentadas em (4.7) e (4.8).

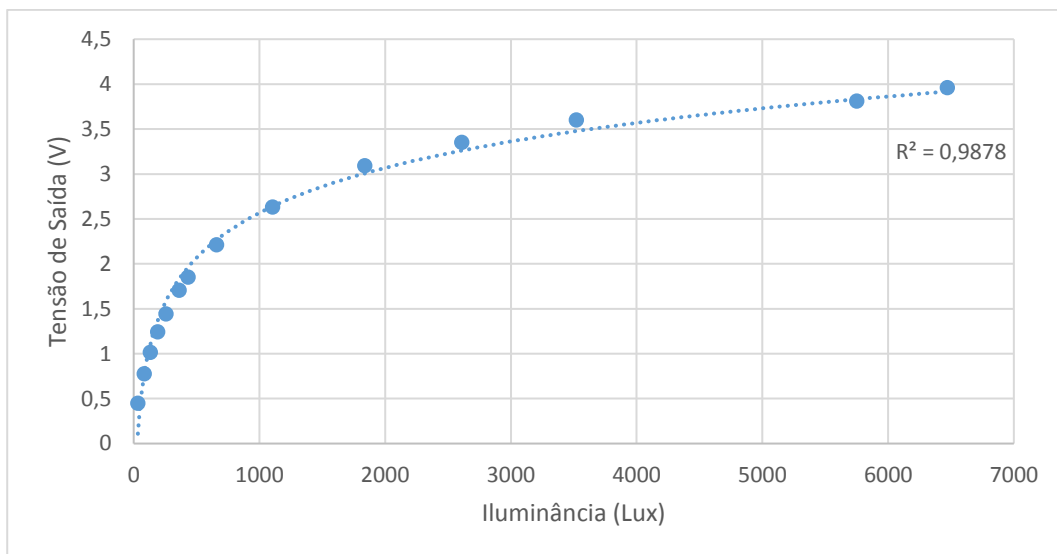


Gráfico 4.3: Tensão de Saída do LDR do Dispositivo 1 em função da Luminosidade

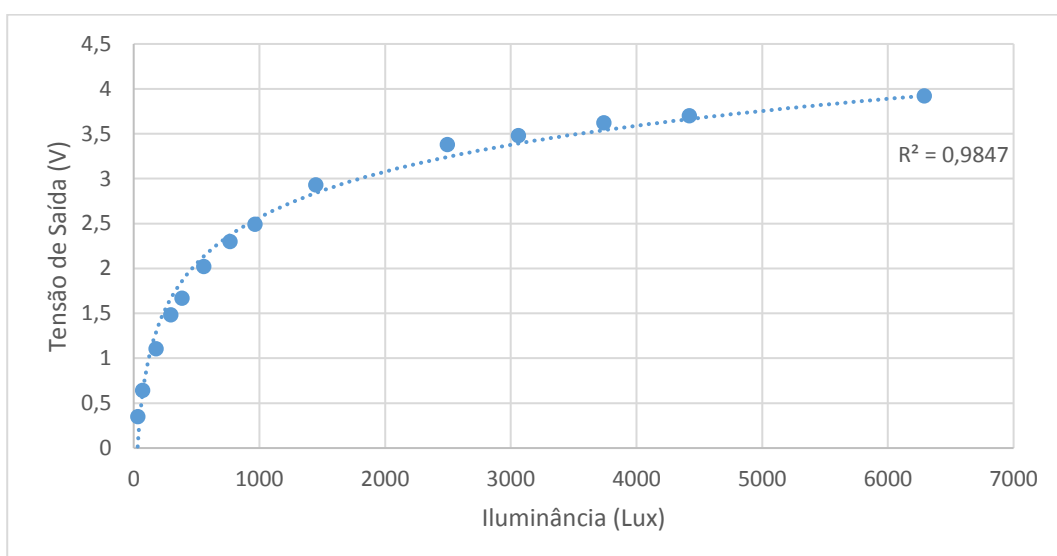


Gráfico 4.4: Tensão de Saída do LDR do Dispositivo 2 em função da Luminosidade

Do conjunto de pontos representados no Gráfico 4.3 e no Gráfico 4.4, resultam, respectivamente, as seguintes equações:

$$y = 0,7224 \times \ln(x) - 2,4226 \quad (4.7)$$

$$y = 0,7377 \times \ln(x) - 2,529 \quad (4.8)$$

em que x representa a Iluminância e y a tensão de saída do LDR.

Por último, realizou-se um teste a ambos os sensores para avaliar a precisão da reta de calibração calculada, mensurando o erro entre os valores testados pelo luxímetro e os valores obtidos pela equação associada a cada uma das retas ((4.7) e (4.8) respetivamente). Os cálculos efetuados encontram-se na Tabela 4.4 e na Tabela 4.5, referente ao dispositivo 1 e 2 respetivamente.

Tabela 4.4: Avaliação realizada à Reta de Calibração do LDR do Dispositivo 1

Entrada (Lux)	Saída Medida (V)	Saída Teórica (V)	Erro (%)	Erro Médio (%)
97,7	0,84	0,8874	5,34	3,55
160,1	1,17	1,2442	5,96	
457	1,93	2,0019	3,59	
939	2,48	2,5221	1,67	
1758	3,01	2,9751	1,17	

Tabela 4.5: Avaliação realizada à Reta de Calibração do LDR do Dispositivo 2

Entrada (Lux)	Saída Medida (V)	Saída Teórica (V)	Erro (%)	Erro Médios (%)
68,6	0,61	0,5902	3,35	3,81
137,3	1,08	1,1021	2,00	
242,1	1,43	1,5205	5,95	
530	1,98	2,0985	5,65	
1756	2,92	2,9822	2,09	

Por último, após a realização da leitura da tensão de saída do fotoresistor, é possível calcular o valor correspondente de iluminância através da Equação (4.9), colocando na Equação (4.7) a variável x (iluminância) em função da variável y (tensão). Da mesma forma para o segundo dispositivo, a Equação (4.8) poderá ser reescrita em função da tensão, como demonstra a Equação (4.10).

$$Iluminância_1 = e^{\frac{Tensão_{saída} + 2,4226}{0,7224}} \quad (4.9)$$

$$Iluminância_2 = e^{\frac{Tensão_{saida} + 2,529}{0,7377}} \quad (4.10)$$

Colocando ambas equações no IDE do Arduino, depois de convertido para tensão o valor lido pelo mesmo, é possível apresentar o valor correspondente de iluminância que cada um dos sensores está a medir.

#### 4.1.2.4 *Sensor de Movimento*

Da mesma forma que foi resumido todo o processo de aquisição de dados dos sensores de temperatura, luminosidade e humidade, e representado no fluxograma da Figura 4.5, também a Figura 4.8 representa igualmente num fluxograma a função que diz respeito à recolha de informação relativa ao sensor de movimento.

O esquema que se segue ilustra o código desenvolvido em Arduino, para que seja possível monitorizar o movimento das pessoas que se encontrem na sala do edifício histórico em que o dispositivo está instalado.

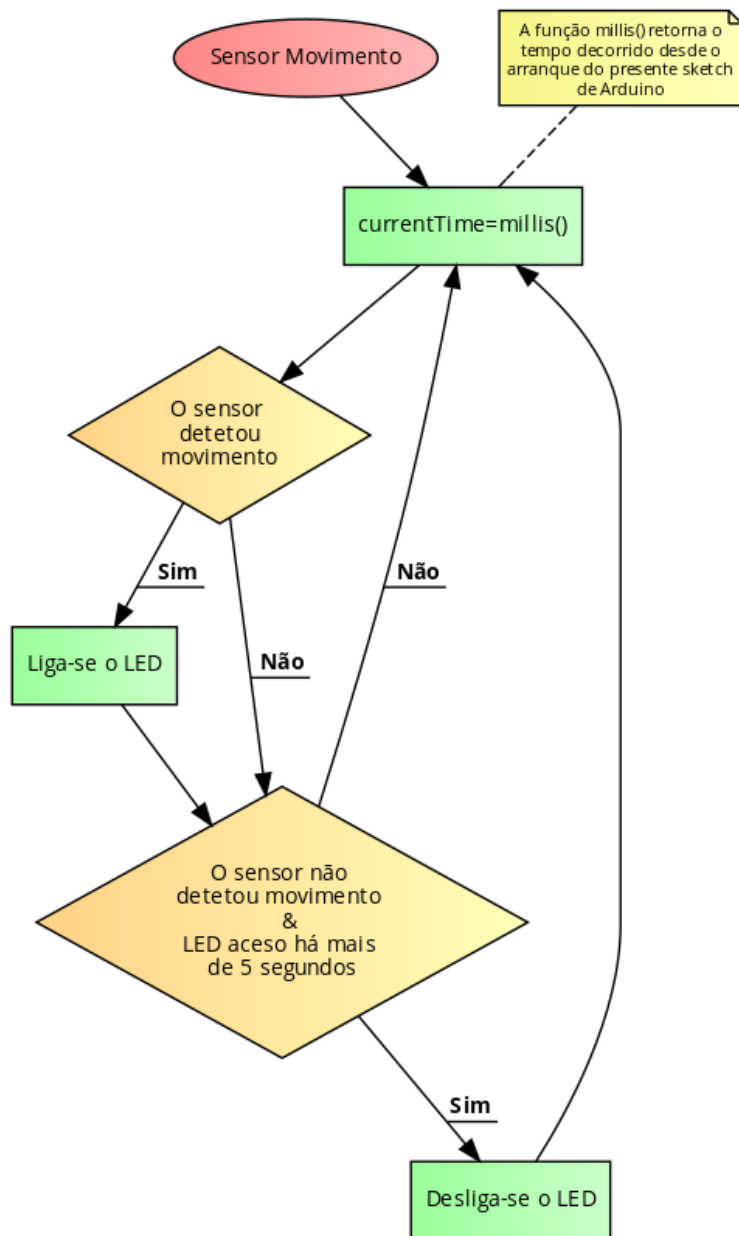


Figura 4.8: Fluxograma do Processo do Sensor de Movimento

Uma vez que o movimento é detetado por parte do sensor através da receção (e daí serem designados por sensores passivos) dos raios infravermelhos (IV) que um corpo (mais concretamente uma fonte de calor) emite, a variação de temperatura de um determinado ponto em relação a outro, induz a que haja igualmente uma variação da emissão de raios IV, que o sensor interpreta como a existência de movimento. A ilustração da deteção de movimento deste tipo de sensores, bem como o princípio de funcionamento e características associadas está ilustrado na Figura 4.9.



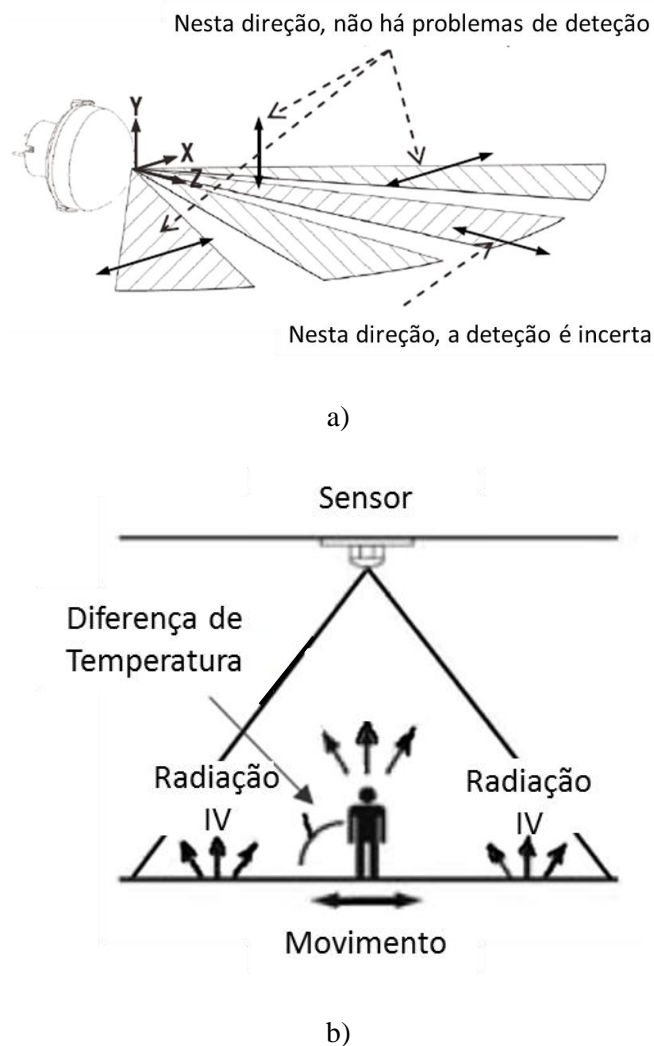


Figura 4.9: Funcionamento do Sensor Passivo de Infravermelhos (Movimento)  
 Adaptado de (Panasonic Eco Solutions Company, 2012)  
 a) Direções de Detecção  
 b) Princípio de Funcionamento

#### 4.1.3 Implementação dos *Beacons*

Com a implementação de um sistema capaz de suportar e operar com a tecnologia dos *Beacons*, pretende-se que exista uma diferente interação com o utilizador, com o objetivo de o tornar ainda mais como parte integrante do edifício, tornando a sua experiência diferente e centrado no próprio utilizador.

É nesse sentido que surge a necessidade da inovação deste tipo de sistemas e para isso utilizou-se um módulo USB de Bluetooth versão 4.0 com Modo Dual. Este adaptador da LM Technologies suporta a tecnologia de *Bluetooth Low Energy*, comercialmente conhecido como *Bluetooth Smart* e é com base nesta tecnologia que foi implementado um sistema que permite

detetar a proximidade de um outro dispositivo, como um smartphone, um tablet, um computador, um smartwatch, entre outros, ou seja, um dispositivo que suporte Bluetooth 4.0 ou superior.

Em termos práticos, esta tecnologia permite localizar determinados dispositivos como os que referidos em cima, com uma muito maior precisão que sinais de GPS quando o utilizador se encontre em ambientes fechados. Para isso, é necessário que o utilizador tenha o *Bluetooth* do seu dispositivo ligado, para que o módulo de *Bluetooth* ligado via USB diretamente à placa do Arduino Yún consiga detetar a proximidade deste dispositivo e assim transmitir-lhe um número de identificação único (UUID).

Como abordado no Capítulo 3, é importante salientar novamente que os *Beacons* não transmitem qualquer conteúdo. Esse trabalho de inteligência fica totalmente à responsabilidade da aplicação que o utilizador necessita de ter instalada no seu dispositivo (os *Beacons* não instalam qualquer aplicação no dispositivo em questão). A única informação que o *Beacon* envia são códigos identificativos UUID, um código “major”, referenciando o local onde ele está posicionado e um “minor” que diferencia *Beacons* que se encontrem no mesmo local.

Depois de gerado este UUID através do terminal do IDE do Arduino, código este que servirá para o *Beacon* realizar a comunicação com a aplicação instalada num dispositivo do utilizador, todas as ações daqui resultantes serão realizadas pela referida aplicação, sendo que o *Beacon* apenas terá a função de lhe enviar o seu identificador.

No que diz respeito à implementação dos Módulos de Bluetooth, com o objetivo de simular um “Sistema de Proximidade em Ambientes Fechados”, seguiu-se um procedimento com base em Basile (2014) utilizando uma das funcionalidades do Arduino Yún, o *Yun Serial Terminal*.

O Arduino Yún distingue-se das outras placas Arduino no sentido em que é possível interagir com o ambiente Linux, estabelecendo-se uma comunicação entre os processadores do ambiente Arduino (ATmega32u4) e do ambiente Linux (AR9331). Esta comunicação estabelece-se por meio da biblioteca “Bridge”, habilitando ao Arduino comunicar-se com interfaces de rede, receber informações a partir do processador AR9331 e executar scripts em Shell<sup>1</sup>. Além disso, esta biblioteca e o processador adicional permitem igualmente a comunicação do processador 32u4 com a porta USB, com a *slot* de cartões SD e ainda com as interfaces de WiFi e de Ethernet. O esquema a nível de processadores e comunicação entre eles do Arduino Yún está representado na Figura 4.10.

---

<sup>1</sup> Um script Shell é um programa que permite que o sistema operativo execute determinadas ações consoante os comandos que o Shell lhe transmite (para mais informações, consultar William & Shotts, 2017)

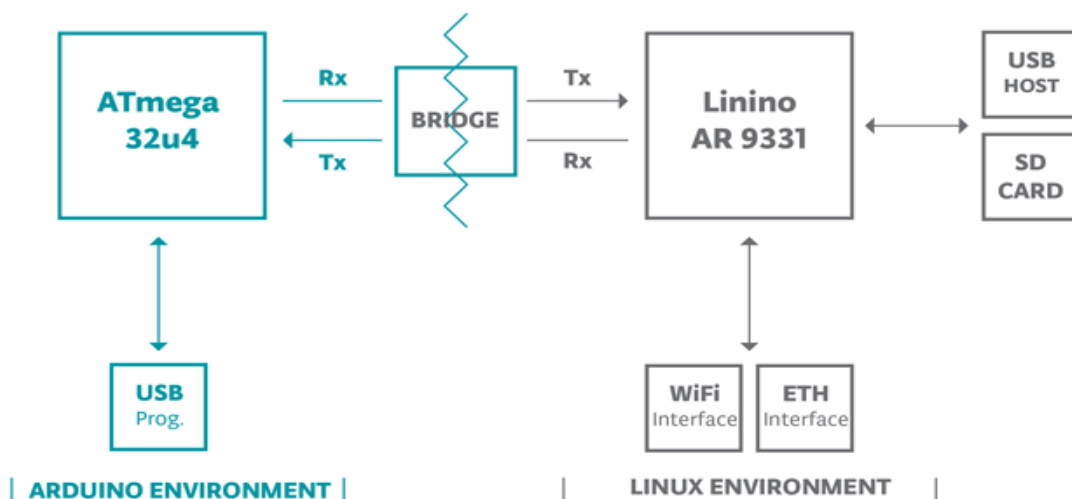


Figura 4.10: Esquema da Comunicação entre os dois Processadores do Arduino Yún (Arduino, n.d.-a)

A comunicação com o processador ATmega que controla a aquisição de dados dos sensores de temperatura, humidade e de movimento é realizada através da ligação à Ethernet. Por sua vez, o módulo Bluetooth conectado à placa do Arduino via USB permite a simulação da tecnologia de *Beacons* através do estabelecimento da conexão ssh do Yún.

A programação e configuração deste módulo é realizada na linha de comandos do terminal do IDE do Arduino, como ilustra a Figura 4.11, seguindo as instruções que o documento localizado em Basile (2014) disponibiliza.

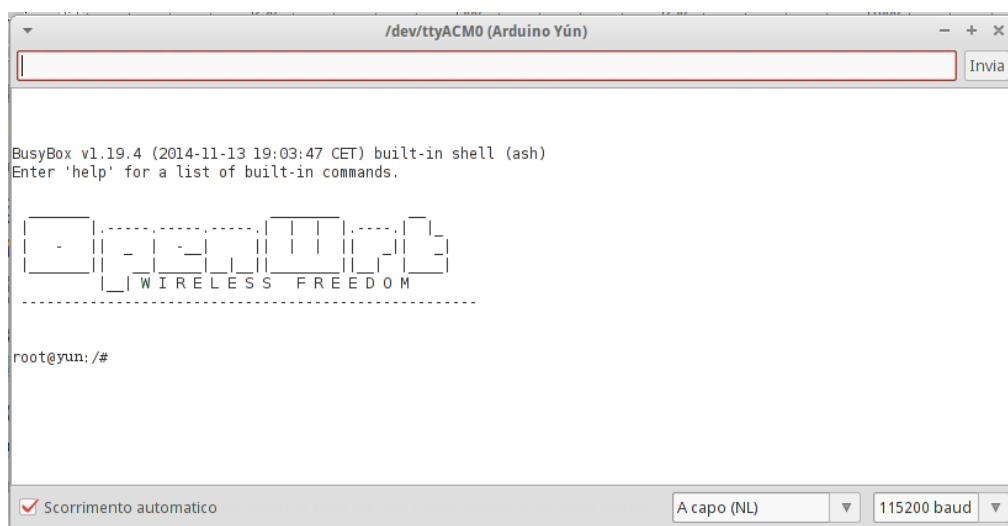


Figura 4.11: Interface do Terminal do Arduino Yún

Depois de configurar o módulo Bluetooth, este emite um sinal que o permite detetar, sabendo a que distância se encontra. Os testes foram realizados com auxílio a um iPad Mini e a localização e consequente comunicação com os módulos Bluetooth foi efetuada através da aplicação “USBeacon”, transferida da loja digital da empresa Apple, a “App Store”.

A aplicação instalada exige que, para se realizar a localização dos *Beacons*, se introduza na mesma o UUID do respetivo módulo Bluetooth. Essa ação é estritamente necessária que seja realizada, pois esta aplicação apenas faz a localização dos *Beacons* cujo código UUID esteja contemplado na lista da mesma. No IDE do Arduino, ao longo da configuração dos módulos Bluetooth é necessário gerar um código UUID. Esse código é então utilizado e copiado para a “Lista dos UUID Beacon”. A Figura 4.12 apresenta este passo na implementação desta funcionalidade.

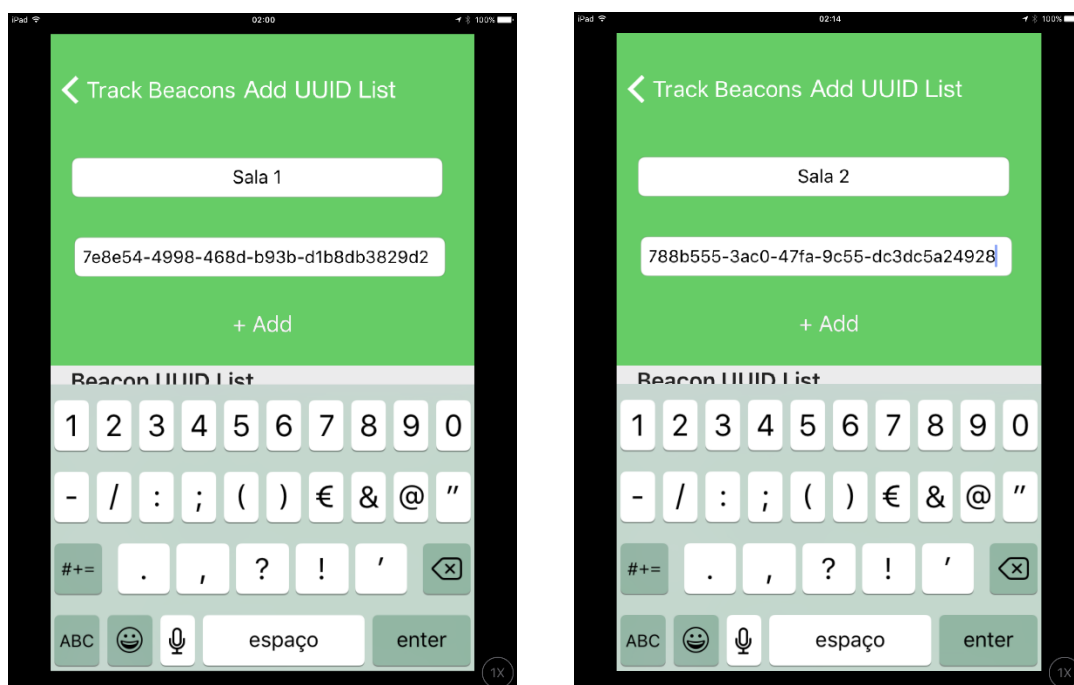


Figura 4.12: Configuração na Aplicação “USBeacon” dos UUID dos módulos Bluetooth a localizar

Premindo o botão “+ Add” visível na figura anterior, e assim, estando os UUID referentes aos dois módulos Bluetooth que queremos localizar adicionados à lista dos “Beacon UUID” da aplicação, esta está preparada para localizar os dois *Beacons*.

Um *Beacon* poderá ser identificado através de três parâmetros: um código UUID, um código Major e um código Minor. Se se tomar o exemplo de um museu que adquiriu 1000 *Beacons*, todos estes dispositivos terão o mesmo UUID, de forma a que o utilizador reconheça que eles pertencem ao Museu em questão. Supondo que este museu contém 5 exposições diferentes, é associado um código Major a cada uma destas exposições. Se cada uma destas exposições contiver

200 obras, é associado um código Minor a cada uma destas obras, sendo que cada obra tem um *Beacon* associado. Sendo assim, existem 5 grupos com 200 *Beacons* cada um.

A relação entre UUID, Major e Minor está representada na Figura 4.13.



Figura 4.13: Relação entre os Valores UUID, Major e Minor

## 4.2 Implementação do Website

Para concluir a metodologia desenvolvida neste trabalho, procedeu-se à implementação do website onde são armazenados os dados recolhidos de cada um dos sensores dos respetivos dispositivos.

No desenvolvimento deste website pretende-se criar uma interface com o utilizador apresentando os dados recolhidos pelos diversos sensores dos respetivos dispositivos. Tenciona-se que através de uma estrutura com um *layout* simples, o utilizador seja capaz de aceder facilmente aos dados de temperatura, de humidade relativa e de luminosidade, bem como à data e hora respetivas. Pretende-se igualmente que este website comunique diretamente com a base de dados na qual os dados são armazenados, atualizando automaticamente os valores que são apresentados na página do website.

Através de um serviço de alojamento na Internet, procedeu-se à criação do website disponível em <http://duartesegurado.6te.net> (ilustração do funcionamento do website no Capítulo 5

deste documento) e, posteriormente, à configuração da base de dados e respetivas tabelas (Figura 4.14) alojada nos servidores do website (disponibilizado por <http://freewebhostingarea.com>).

Nesta base de dados é possível armazenar automaticamente os valores provenientes de ambos os dispositivos, ficando estes guardados num sistema de *Cloud*, como se observa na Figura 4.14. Estando o dispositivo ligado à rede de Internet, os dados que recolhe são automaticamente guardados e carregados na base de dados alojada no site e consequentemente carregados no website criado.

The top screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named '1167813'. It displays the structure of the database, listing two tables: 'sensores' and 'sensores\_2'. Both tables are of type 'MyISAM' and use the 'utf8\_general\_ci' collation. The 'sensores' table has a size of 5.2 KB and 4 KB of suspended space. The 'sensores\_2' table has a size of 3.7 KB and 2.5 KB of suspended space. The bottom screenshot shows the data view of the 'sensores' table. It displays a table with 10 records. The columns are 'timeStamp', 'temperature', 'luminosidade', and 'humidade'. The data shows temperature readings ranging from 23.95 to 26.88, luminosity readings ranging from 44 to 335, and humidity readings ranging from 59 to 60.

timeStamp	temperature	luminosidade	humidade
2016-06-21 20:58:42	23.95	44	60
2016-06-21 20:59:13	24.24	44	60
2016-06-21 20:59:43	24.54	654	60
2016-06-21 21:00:14	26.88	44	59
2016-06-21 21:00:45	26.93	240	59
2016-06-21 21:01:16	26.93	233	59
2016-06-21 21:01:47	26.88	44	59
2016-06-21 21:02:18	26.88	44	59
2016-06-21 21:02:48	26.88	330	60
2016-06-21 21:03:19	26.88	335	59

Figura 4.14: Configuração e Armazenamento da Informação na Base de Dados

Para o armazenamento dos dados no servidor, bem como para a apresentação dos mesmos, disponível no website criado, desenvolveram-se dois ficheiros em PHP, além de um terceiro responsável pela conexão à base de dados. Os ficheiros colocados no website através do protocolo FTP permite que estes sejam geridos, acedidos e editados, bem como a posterior comunicação com a base de dados.

Os ficheiros em PHP foram desenvolvidos utilizando a integração com instruções SQL, como ilustrado no exemplo da Figura 4.15.

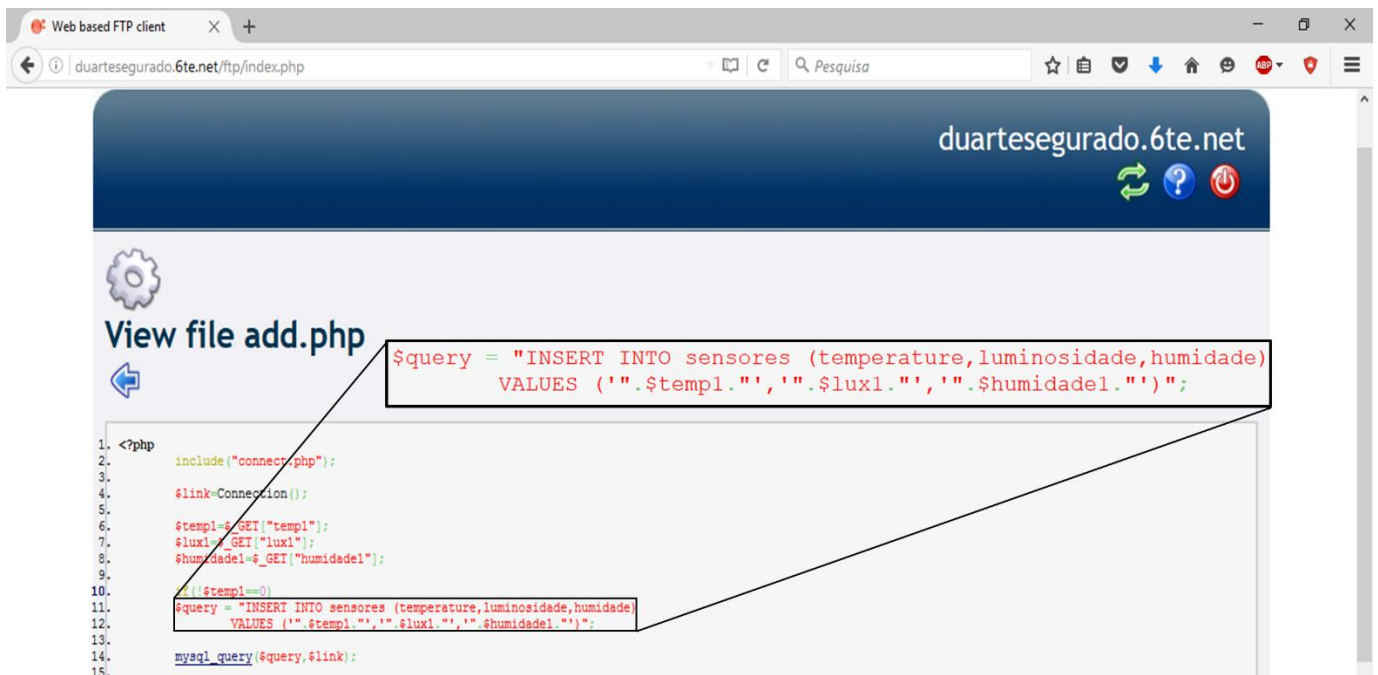


Figura 4.15: Interface dos ficheiros PHP alojados no servidor FTP





## 5 Resultados Experimentais

Nesta seção vão ser apresentados os dados experimentais, bem como a análise dos mesmos, que permitem tirar conclusões sobre o sistema implementado. Para tal, simulou-se a implementação deste sistema num ambiente real, permitindo perceber e estudar as aplicações de cada um dos sensores.

Excetuando o caso do dispositivo de Bluetooth, os resultados apresentados encontram-se representados em gráficos que relacionam a tensão de saída com a grandeza que o respetivo sensor mensura no Capítulo 4 deste documento. Ou seja, é realizado um condicionamento de sinal de forma a ser possível realizar a medição da tensão de saída, tensão esta que depende proporcionalmente da grandeza que está a ser medida por um determinado sensor.

Estes resultados obtidos a partir dos testes desenvolvidos poderão ser visualizados na interface desenvolvida alojada na internet e que pode ser acedida através do seguinte endereço: <http://duartesegurado.6te.net>. A Figura 5.1 ilustra o website, permitindo ao utilizador mostrar e ocultar a informação recolhida, respetiva de cada um dos dispositivos, premindo os respetivos botões.

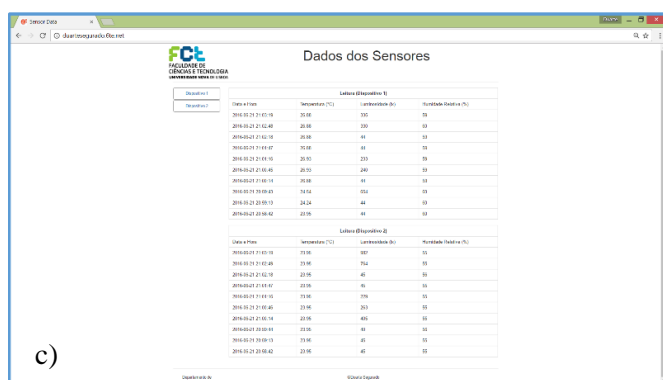
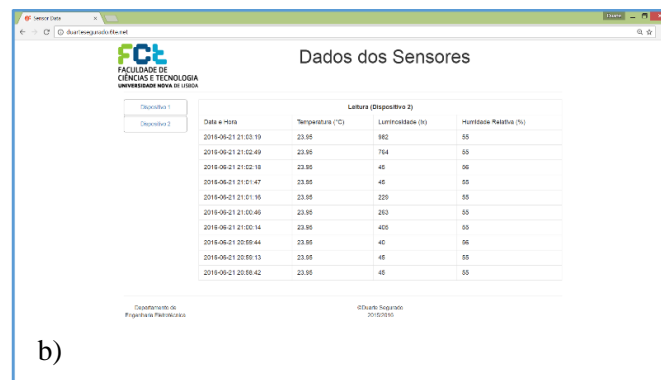
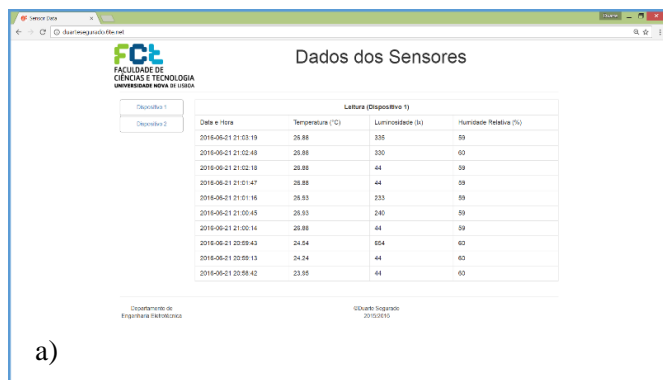


Figura 5.1: Website com Apresentação dos Resultados Obtidos

- a) Apresentação da Leitura do Dispositivo 1 (homepage do website)
- b) Apresentação da Leitura do Dispositivo 2
- c) Apresentação das Leituras de ambos os Dispositivos
- d) Ocultação da Leitura de ambos os Dispositivos

Na implementação desta página web foi utilizado o *framework* Bootstrap (consultar Otto & Thornton, 2016 para mais informações), uma ferramenta que pelo facto de providenciar *templates* para dispositivos como computadores, smartphones ou tablets, permite que o desenvolvimento de código web se adapte em termos de visualização das páginas web a estes dispositivos. As diferenças entre cada um deles estão ilustradas na Figura 5.2.

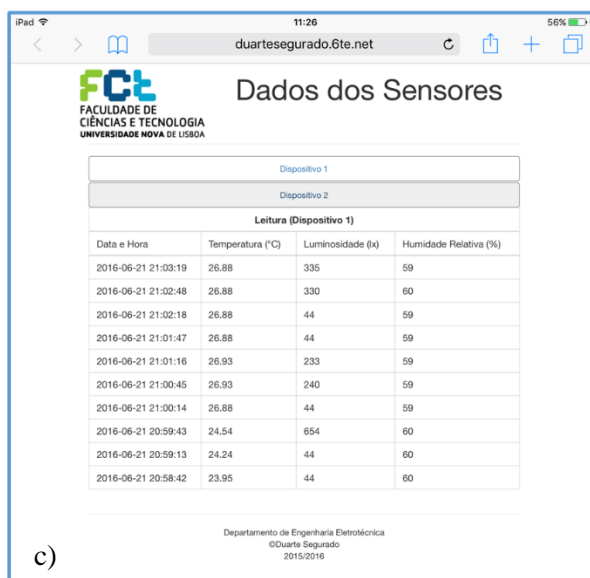
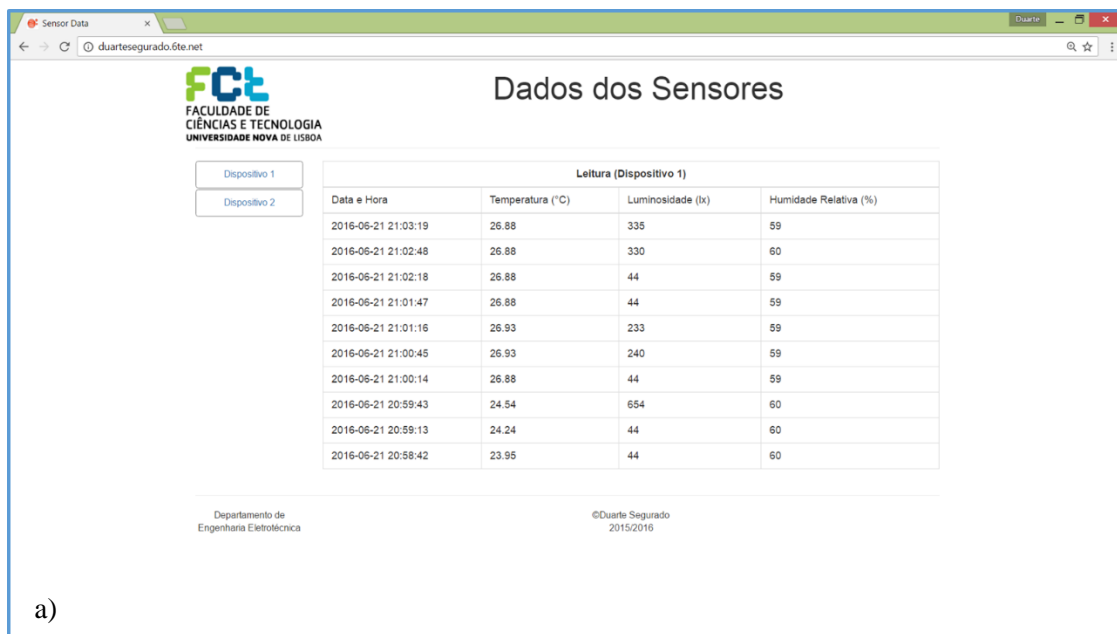


Figura 5.2: Visualização do Website em Diferentes Dispositivos

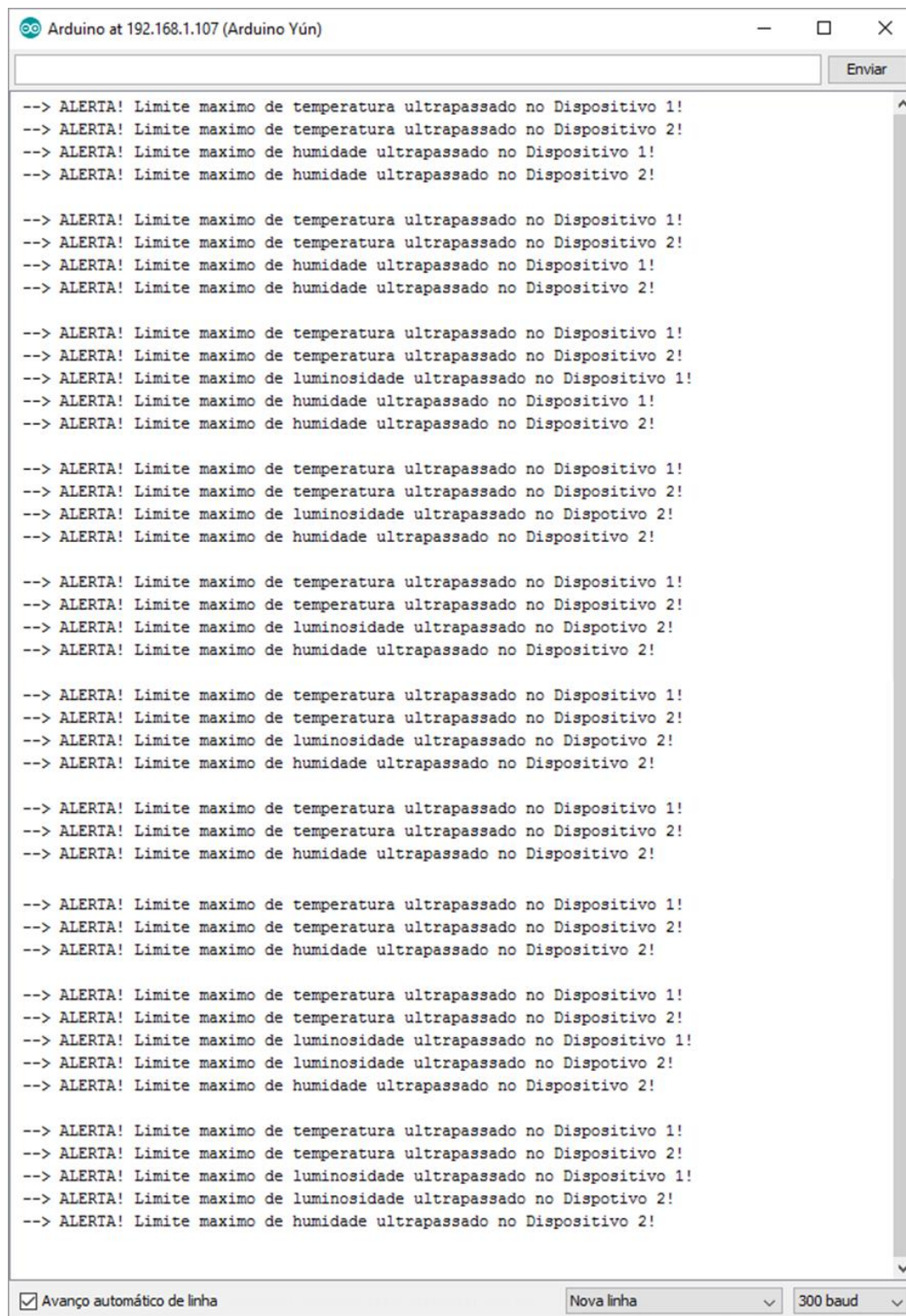
a) Computador (Google Chrome)

b) Smartphone com SO Android

c) Tablet com SO iOS

Tendo em conta os valores provenientes de cada um dos sensores, caso estes valores ultrapassem um determinado limite máximo imposto previamente com base nos materiais presentes no local que se está a monitorizar, é emitido um alerta, destacando qual o fator que tenha ultrapassado o referido limite e de qual dispositivo. Estes valores máximos aconselhados foram retirados de Alarcão (2007) e serão contemplados nos subcapítulos que se seguem, consoante se trate de valores referentes à temperatura, humidade ou luminosidade.

Na Figura 5.3 são apresentados os referidos “alertas” que o sistema emitiu, neste caso, dos 10 conjuntos de dados adquiridos que compõe o teste realizado a este sistema, contemplando dois dispositivos posicionados em salas diferentes. Nestes testes, simulou-se este sistema para os materiais de cerâmica e madeira, no caso do Dispositivo 1 e do Dispositivo 2, respetivamente.



Arduino at 192.168.1.107 (Arduino Yún)

Enviar

```
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!
```

☒ Avanço automático de linha    Nova linha    300 baud

Figura 5.3: Conjunto de “alertas” emitidos pelo sistema de monitorização de ambos os dispositivos

## 5.1 Monitorização de Temperatura e de Humidade

Com o objetivo de preservar retábulos, documentos, livros e outras peças de artesanato valiosas e com um elevado valor histórico, pretende-se fazer a medição e registar o valor de temperatura, bem como o valor da humidade relativa no interior do edifício. Os sinais analógicos provenientes do Arduino são convertidos para um valor equivalente de temperatura e de humidade respetivamente, como foi apresentado no Capítulo 4 e assim é possível monitorizar o sistema consoante esses valores de temperatura e humidade.

O código fonte implementado no Arduino, facilmente permite a especificação de valores máximos e mínimos admissíveis, alterando apenas o valor da variável de controlo respetiva. A capacidade de cada monumento e de cada edifício histórico poder realizar esta especificação, leva a que este sistema se trate de um “sistema aberto”. O sistema é aberto no sentido em que será parametrizável conforme cada caso, permitindo inclusive que se altere o *software*.

Segundo Alarcão (2007), o aspeto mais importante e que deve ser levado em consideração, é assegurar que estes parâmetros não sofram de variações bruscas. Perante este cenário, se certas normas forem respeitadas, nomeadamente as que foram estabelecidas em 1972 com a Convenção sobre a Proteção do Património Mundial, Cultural e Natural, e se os parâmetros apresentados na Tabela 5.1 que se segue se encontrarem dentro de uns determinados limites recomendados, é possível afirmar que a preservação das obras estará assegurada.

Tabela 5.1: Valores de humidade relativa e de temperatura aconselhados consoante o tipo de material (Alarcão, 2007)

Tipo de objeto	Humidade Relativa (%)	Temperatura (°C)
Cerâmica	40 - 60	18 +/- 2
Cera	55 - 60	15 - 16
Couro, Pergaminhos	50 - 55	20
Documentos gráficos	55 +/- 5	18 +/- 2
Madeira	50	19 - 21
Marfim	55	18 (16 - 24)
Material Subaquático	100	0 - 10
Materiais fotográficos	30 - 40	10 - 15
Metais	0 - 45	15 - 20
Pintura	45 - 60	18 - 22
Penas	50 - 55	16 - 17
Vidro, vitral	45 - 60	18 - 20
Têxteis	40 - 60	18

De facto, e ainda segundo a mesma fonte, não existem os chamados “valores ideais” nem soluções gerais para combater a degradação do património. Isso deve-se ao facto de cada peça ser um caso singular, bem como o ambiente em que está inserida ser, também, particular e daí ser necessário que o sistema seja parametrizado para cada caso.

Porém, deve-se ter em conta determinados fatores como o tipo de material e o seu estado de conservação, o clima e a localização do espaço em que o objeto se encontra, a existência e a disponibilidade de equipamentos de controlo e a capacidade para manter as condições estabelecidas e desejadas, antes de especificar valores normativos de temperatura e humidade relativa.

### 5.1.1 Temperatura

O sistema desenvolvido permite realizar a recolha de dados de temperatura, sendo que o local de instalação de um destes dispositivos irá ditar quais os limites especificados para o qual é pretendido que os valores de temperatura se encontrem. Com o objetivo de testar o sistema desenvolvido, foram colocados dois dispositivos em salas diferentes, sendo que os resultados experimentais destacados na Figura 5.5 são referentes a cada um dos mesmos, respetivamente. A disposição destes dois dispositivos em salas diferentes permite assim realizar a monitorização e a

recolha de dados de forma simultânea, a partir de diferentes pontos do monumento e/ou do espaço que está a ser monitorizado, como ilustra a Figura 5.4.

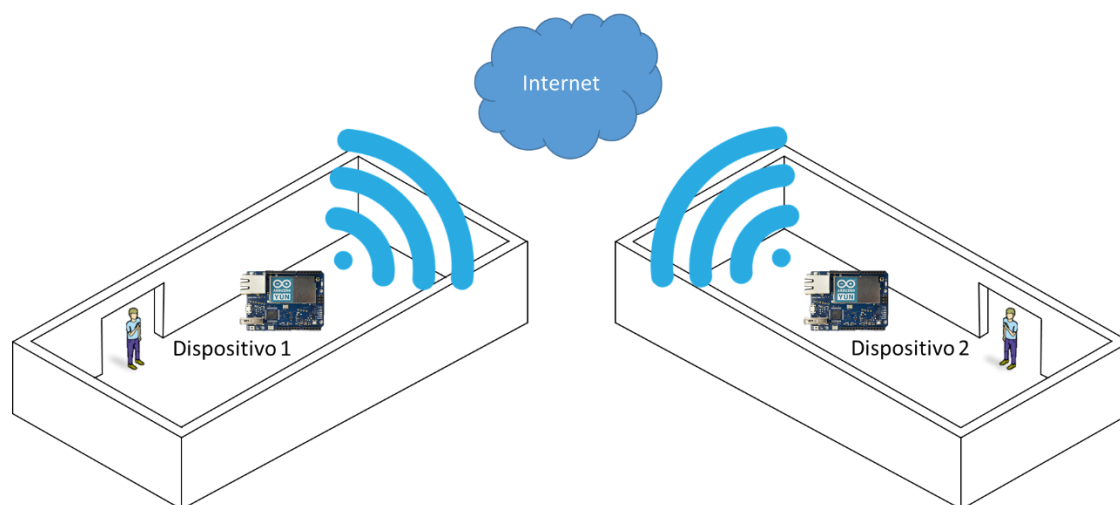


Figura 5.4: Ilustração da Utilização do Sistema Desenvolvido com múltiplos Dispositivos Multi-sensor

Os valores medidos, representados no Gráfico 4.1 do Capítulo 4, e seguidamente carregados no website, podem ser observados na Figura 5.5.

Posteriormente à leitura do valor de temperatura, consoante o mesmo, atua-se em conformidade caso o sistema envie um alerta, conforme os valores máximos estipulados. Este “alerta”, cujo exemplo pode ser visto na Figura 5.6, é lançado e apresentado no Monitor Série do IDE do Arduino.



Dispositivo 1	Leitura (Dispositivo 1)			
Dispositivo 2	Data e Hora	Temperatura (°C)	Luminosidade (lx)	Humidade Relativa (%)
	2016-06-21 21:03:19	26.88	335	59
	2016-06-21 21:02:48	26.88	330	60
	2016-06-21 21:02:18	26.88	44	59
	2016-06-21 21:01:47	26.88	44	59
	2016-06-21 21:01:16	26.93	233	59
	2016-06-21 21:00:45	26.93	240	59
	2016-06-21 21:00:14	26.88	44	59
	2016-06-21 20:59:43	24.54	654	60
	2016-06-21 20:59:13	24.24	44	60
	2016-06-21 20:58:42	23.95	44	60
	Leitura (Dispositivo 2)			
	Data e Hora	Temperatura (°C)	Luminosidade (lx)	Humidade Relativa (%)
	2016-06-21 21:03:19	23.95	982	55
	2016-06-21 21:02:49	23.95	764	55
	2016-06-21 21:02:18	23.95	45	56
	2016-06-21 21:01:47	23.95	45	55
	2016-06-21 21:01:16	23.95	229	55
	2016-06-21 21:00:46	23.95	263	55
	2016-06-21 21:00:14	23.95	405	55
	2016-06-21 20:59:44	23.95	40	56
	2016-06-21 20:59:13	23.95	45	55
	2016-06-21 20:58:42	23.95	45	55

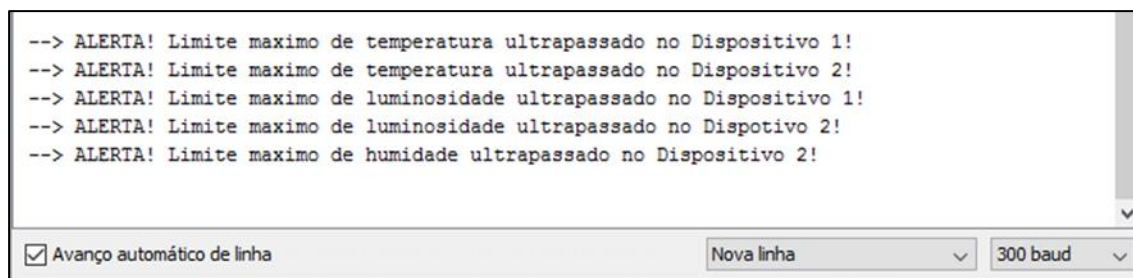
Figura 5.5: Apresentação dos Dados Adquiridos (Temperatura) no Website

Relativamente aos valores apresentados, estes são diferentes como seria de esperar, principalmente por duas razões. A primeira diz respeito ao facto de se tratarem de sensores diferentes, e não sendo ideais, poderão ter uma ligeira diferença na sensibilidade da temperatura que estão a medir. De facto, e de acordo com o catálogo deste sensor, para uma temperatura a rondar os 25 °C, tipicamente o sensor tem uma precisão de  $\pm 0,2$  °C. A segunda, e o fator mais relevante que leva a resultados diferentes, refere-se à questão de este sistema ter sido testado, apesar de ser na mesma habitação, em duas salas diferentes, em que é colocado um dispositivo numa sala e outro noutra, podendo estar estas salas em condições ambientais um pouco diferentes, sendo que uma janela aberta influenciará os dados recolhidos.

Para o dispositivo 1, especificou-se um valor máximo tendo em conta os materiais de cerâmica, definindo assim o limite máximo de 20 °C, com base na Tabela 5.1. Da mesma forma, e com base na mesma tabela, o valor escolhido para o teste do dispositivo 2 teve em conta o tipo de material de madeira, especificando assim o valor máximo de 21 °C. Como é possível observar pela Figura 5.5, os dois valores de temperatura destacados pelos quadrados verdes, referentes aos

dois dispositivos da qual constaram para realizar a simulação do sistema de monitorização implementado, ambos ultrapassam os valores especificados como máximos para cada um dos casos.

De acordo com esta situação descrita em cima, o sistema age de acordo com os valores especificados e nesse sentido, na Figura 5.6, é apresentado uma captura de ecrã do ambiente do IDE do Arduino em que é contemplado e destacado o conjunto de alertas referentes ao último conjunto de valores recolhidos (excerto da Figura 5.3) de que fazem parte aqueles dados de temperatura que foram destacados na Figura 5.5.



```
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispotivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!
```

☒ Avanço automático de linha    Nova linha    300 baud

Figura 5.6: Conjunto de “alertas” para os últimos valores recolhidos

A partir dos valores de temperatura recolhidos e tendo em conta os alertas que o sistema gera conforme a irregularidade de determinados valores, pretende-se atuar em conformidade para com as mesmas, seja manualmente com base nos alarmes que o sistema emite, seja automaticamente, na medida em que o sistema poderá controlar um sistema de climatização.

Atendendo à localização geográfica e às consequentes condições atmosféricas, bem como às amplitudes térmicas do local onde o edifício histórico se encontra, poder-se-á justificar a instalação de um aparelho de climatização, capaz de manter a temperatura de uma determinada sala aproximadamente constante, conforme aquilo que se deseja especificar.

### 5.1.2 Humidade

Da mesma maneira como foi implementado para a recolha de dados referentes à temperatura, este sistema também permite a recolha de valores de Humidade Relativa. Com base na mesma Tabela 5.1 e segundo os valores aconselhados apresentados na mesma, o sistema emite igualmente um alerta, como é possível visualizar na Figura 5.8, caso os valores (recolhidos, guardados na base de dados do servidor e aqui apresentados na Figura 5.7) que ele esteja a analisar, não estejam de acordo com os limites impostos.

Ao contrário dos testes realizados com o sensor de temperatura, em que foi possível simular e testar valores dentro de uma gama de valores consideravelmente alargada, no que diz respeito

ao sensor de humidade, é mais difícil e menos viável realizar esses testes com valores muito díspares entre si.

Dispositivo 1	Leitura (Dispositivo 1)			
Dispositivo 2	Data e Hora	Temperatura (°C)	Luminosidade (lx)	Humidade Relativa (%)
	2016-06-21 21:03:19	26.88	335	59
	2016-06-21 21:02:48	26.88	330	60
	2016-06-21 21:02:18	26.88	44	59
	2016-06-21 21:01:47	26.88	44	59
	2016-06-21 21:01:16	26.93	233	59
	2016-06-21 21:00:45	26.93	240	59
	2016-06-21 21:00:14	26.88	44	59
	2016-06-21 20:59:43	24.54	654	60
	2016-06-21 20:59:13	24.24	44	60
	2016-06-21 20:58:42	23.95	44	60
	Leitura (Dispositivo 2)			
	Data e Hora	Temperatura (°C)	Luminosidade (lx)	Humidade Relativa (%)
	2016-06-21 21:03:19	23.95	982	55
	2016-06-21 21:02:49	23.95	764	55
	2016-06-21 21:02:18	23.95	45	56
	2016-06-21 21:01:47	23.95	45	55
	2016-06-21 21:01:16	23.95	229	55
	2016-06-21 21:00:46	23.95	263	55
	2016-06-21 21:00:14	23.95	405	55
	2016-06-21 20:59:44	23.95	40	56
	2016-06-21 20:59:13	23.95	45	55
	2016-06-21 20:58:42	23.95	45	55

Figura 5.7: Apresentação dos Dados Adquiridos (Humidade) no Website

Os valores destacados na figura acima dizem respeito unicamente ao dispositivo 1, porque para o caso do dispositivo 2, uma vez que o valor especificado foi de 50% (referente a materiais de madeira) em relação à Humidade Relativa, os dados recolhidos desse dispositivo ultrapassaram todos essa especificação.

Relativamente ao dispositivo 1 (com valores recomendados segundo o tipo de material de cerâmica), estes valores foram destacados, uma vez que alguns deles fizeram com que o sistema gerasse um “alerta”, enquanto outros, com o mesmo valor (arredondando) não o fizeram. De seguida apresenta-se a Figura 5.8 relativa aos “alertas” emitidos pelo sistema, destacando os valores referidos na Figura 5.7 (os três primeiros e os dois últimos).

```
Arduino at 192.168.1.107 (Arduino Yún)

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!

--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 1!
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!
```

☒ Avanço automático de linha    Nova linha    300 baud

Figura 5.8: Conjunto de “alertas” para os três primeiros e dois últimos valores recolhidos

Destacara-se estes conjuntos de “alertas”, para que, comparando com os valores destacados na Figura 5.7, seja possível analisar pormenorizada e rigorosamente os resultados destes testes.

Como é possível observar pela Figura 5.8, em relação ao dispositivo 1, não foi dado qualquer alerta de que o valor da percentagem de humidade relativa tenha sido ultrapassado. De facto, uma vez que o valor especificado com o valor recomendado de 60%, o último valor registado de 59% está de acordo com o esperado, uma vez que não é emitido qualquer alerta, visto ser menor que o valor recomendado.

Tendo em conta determinados “alertas” gerados, é necessário esclarecer o facto de que por vezes o sistema envia alertas para o valor de 60%, enquanto noutras vezes, para o mesmo valor de 60%, não o fazer. De facto, para os três últimos “alertas”, é emitido um alerta também para o dispositivo 1 que está a recolher um dado relativo à percentagem de Humidade Relativa com um valor de 60%, porém, para o penúltimo caso, e nas mesmas condições deste elemento atmosférico, o sistema já não gera nenhum “alerta”. Esta situação está relacionada com o facto de que na implementação deste sistema, optou-se por apresentar no website o valor de humidade relativa arredondado às unidades. Ora, acontece que para as três últimas situações, esse valor estará entre 60,0 e 60,5 %, o que fez com que fosse gerado um alerta, sendo apresentado o valor arredondado de 60%. Por outro lado, o penúltimo valor, também ele arredondado para 60%, este encontrar-se-á entre a gama de valores de 59,5 e 60%, o que resulta numa ausência de “alerta”, uma vez que o valor é menor que o especificado.

Por último, e realizando uma abordagem semelhante à realizada para o sensor de temperatura face aos valores coletados, pretende-se controlar a humidade presente na área a monitorizar. Relativamente aos resultados obtidos referentes ao segundo dispositivo, em que se constata que todos os valores de percentagem de humidade relativa recolhidos ultrapassam o máximo desejável, seria recomendável que se instalasse neste local um determinado aparelho capaz de controlar a percentagem de humidade presente no mesmo, como é o caso dos desumidificadores, por exemplo.

## 5.2 Monitorização da Luminosidade

O total de quantidade de energia emitida por uma certa fonte de luz pode ser ilustrado pelo espectro eletromagnético, dividido dos mais baixos (ondas de rádio) até aos mais elevados (raios gama). Seja qual for a fonte de luz, natural ou artificial, o espectro eletromagnético compreende

comprimentos de onda que se localizam em três regiões distintas: radiação ultravioleta (300-400 nm), radiação visível (400-760 nm) e infravermelho (acima dos 760 nm).

Apesar do dispositivo multi-sensor desenvolvido apenas contemplar o sensor LDR, permitindo assim, através de um dado condicionamento de sinal (traduzindo a variação de resistência em função da luminosidade em lux), apenas medir a quantidade de luz recebida num determinado ponto (iluminância), será importante dedicar uma atenção especial no que diz respeito à emissão da radiação ultravioleta (UV), uma vez que esta é também um principal fator responsável pela degradação e deterioração química dos objetos.

Desta forma, para que se possa utilizar este sistema em conformidade com os padrões e valores recomendados, de seguida, na Tabela 5.2, são apresentados os valores da quantidade de luz em Lux e da intensidade da radiação UV pela qual se devem reger os técnicos, aquando da instalação de iluminação, consoante o diferente tipo de material.

Tabela 5.2: Níveis de Iluminação recomendados consoante o Tipo de Material (Alarcão, 2007)

Tipo de Material	Lux	UV
Cerâmica, vidro, metais, pedra	$\leq 300$	$\leq 75$
Pintura a óleo/têmpera, couro não pintado, laca, osso, madeira, marfim, corno, fotografia a preto e branco	$\leq 200$	$\leq 75$
Aquarela, guache, manuscritos, corantes, desenhos, têxteis, fotografia a cores, couro pintado, objetos de coleções naturais	$\leq 50$	$\leq 30$

Tendo em conta os valores que figuram na tabela apresentada acima, de seguida são apresentadas duas imagens, que ilustram a configuração de apresentação no website, segundo a Figura 5.9, do servidor dos valores recolhidos dos diversos sensores e uma segunda figura com os respetivos “alertas” (Figura 5.10).



Dispositivo 1	Leitura (Dispositivo 1)			
Dispositivo 2	Data e Hora	Temperatura (°C)	Luminosidade (lx)	Humidade Relativa (%)
	2016-06-21 21:03:19	26.88	335	59
	2016-06-21 21:02:48	26.88	330	60
	2016-06-21 21:02:18	26.88	44	59
	2016-06-21 21:01:47	26.88	44	59
	2016-06-21 21:01:16	26.93	233	59
	2016-06-21 21:00:45	26.93	240	59
	2016-06-21 21:00:14	26.88	44	59
	2016-06-21 20:59:43	24.54	654	60
	2016-06-21 20:59:13	24.24	44	60
	2016-06-21 20:58:42	23.95	44	60
	Leitura (Dispositivo 2)			
	Data e Hora	Temperatura (°C)	Luminosidade (lx)	Humidade Relativa (%)
	2016-06-21 21:03:19	23.95	982	55
	2016-06-21 21:02:49	23.95	764	55
	2016-06-21 21:02:18	23.95	45	56
	2016-06-21 21:01:47	23.95	45	55
	2016-06-21 21:01:16	23.95	229	55
	2016-06-21 21:00:46	23.95	263	55
	2016-06-21 21:00:14	23.95	405	55
	2016-06-21 20:59:44	23.95	40	56
	2016-06-21 20:59:13	23.95	45	55
	2016-06-21 20:58:42	23.95	45	55

Figura 5.9: Apresentação dos Dados Adquiridos (Luminosidade) no Website

Os valores destacados dizem respeito aos dois dispositivos utilizados, colocados em condições de iluminação diferentes, com o objetivo de simular uma situação real, em que é possível realizar a monitorização e a recolha de dados simultaneamente a partir de diferentes pontos do monumento e/ou do espaço (ou mesmo de apenas uma obra de arte) que se está a monitorizar.

Do mesmo modo que se procedeu na implementação dos sensores de temperatura e de humidade, também para a luminosidade, com base nos valores da Tabela 5.2, o sistema emite um “alerta” para o utilizador, ilustrados na Figura 5.10, caso os valores de luminosidade impostos sejam ultrapassados. No caso do sistema desenvolvido, este “alerta” apenas irá ser dado quando o valor seja excedido, uma vez que, tanto pela tabela dos níveis de iluminação recomendados, como por uma questão de lógica, os materiais e as obras expostas apenas serão danificadas se o valor de luminosidade for superior ao recomendado.

```
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de temperatura ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 1!  
--> ALERTA! Limite maximo de luminosidade ultrapassado no Dispositivo 2!  
--> ALERTA! Limite maximo de humidade ultrapassado no Dispositivo 2!
```

Figura 5.10: Conjunto de “alertas” para os penúltimos valores recolhidos

Como é possível constatar pelos “alertas” emitido pelo sistema, este apenas foi lançado quando o valor de luminosidade excedeu os 300 lux no caso do dispositivo 1, dado que para este teste se especificou esse valor máximo recomendável, tendo em conta a especificação aconselhável para materiais de cerâmica, vidro, metais ou de pedra, segundo a Tabela 5.2, e para os 200 lux (relativamente à madeira, entre outros materiais) no caso do dispositivo 2.

Visto isto, é possível inferir a capacidade deste sistema de se adaptar a qualquer ambiente que o técnico do respetivo edifício desejar, uma vez que é suficiente modificar o valor especificado da variável de controlo do “alerta”, dependendo do tipo de material que esteja exposto.

Numa situação real, uma vez que tanto uma fonte de luz artificial como natural podem afetar estes níveis de luminosidade, urge ter em conta determinados processos de controlo para ambas as situações. No âmbito de uma fonte de luz artificial, detetando-se um valor de luminosidade excedente àquele que foi anteriormente especificado, dever-se-á desencadear uma simples ação de reduzir a intensidade desta fonte ou em último caso desligá-la, até que se registre um valor dentro dos parâmetros desejados. Admitindo que numa determinada sala existem janelas, é necessário entrar em conta com a fonte natural de luz. Sendo que a fonte artificial poderá emitir um nível de luminosidade constante, ao longo do dia, inevitavelmente, as diferentes posições do Sol face à Terra e mais especificamente, à sala do edifício em estudo, farão com que os níveis de iluminação que esta área receberá, sejam variáveis. Uma vez que, ao contrário do que acontece com uma fonte artificial, não é possível regular a intensidade do Sol, surge a necessidade de instalar determinados mecanismos de controlo que permitam ao sistema funcionar corretamente como um todo. O caso mais simples seria instalação de cortinas, por forma a permitir a entrada no respetivo local de menor ou maior intensidade luminosa.

Considerando a variação da exposição solar, apesar do sistema desenvolvido na presente dissertação não contemplar, é desejável que se instale um medidor de raios UV, visto que os mesmos poderão da mesma forma danificar os objetos de património, sendo assim possível, juntamente com o sistema desenvolvido, monitorizar os níveis de luminosidade e de UV.



### 5.3 Detecção e Monitorização de Movimento

O sensor de movimento implementado no dispositivo deste projeto está associado a duas funções relacionadas com a deteção de presença/movimento de pessoas.

A primeira função implementada diz respeito à iluminação de um determinado espaço, consequentemente à deteção de movimento por parte do sensor. Esta função foi realizada com o objetivo de tornar o processo de regulação da iluminação de forma automática. Além de permitir este processo automático, é de esperar que através do controlo eficiente de iluminação, se consiga poupar energia e neste sentido tornar o sistema mais eficiente. Pretende-se assim, que a iluminação de uma determinada zona, de uma obra de arte específica ou qualquer outra zona que necessite de iluminação seja ativada apenas na deteção de movimento de uma ou mais pessoas, sendo este sensor responsável pela sua deteção. Uma vez detetada essa pessoa, pretende-se que o local fique iluminado um determinado intervalo de tempo, especificação essa, definida pelo técnico responsável pela instalação deste sistema no local desejado.

A nível do sistema implementado, esta funcionalidade de controlo da iluminação foi simulada com auxílio à placa do Arduino, em que após o sensor de movimento detetar a movimentação de uma pessoa, acende um determinado LED e este ficará aceso pelo tempo especificado anteriormente, que no caso do sistema desenvolvido, está delimitado a 5 segundos. Existe um certo atrasado, o que resulta num intervalo de tempo em que o LED está aceso, um pouco superior a 5 segundos (7 segundos aproximadamente), uma vez que a plataforma do Arduino não permite a programação da execução de duas ou mais tarefas simultaneamente (em inglês, *thread*), como foi elucidado no Capítulo 4 desta dissertação. É possível visualizar na Figura 5.11 esta função, em que o LED está aceso depois do sensor ter detetado o movimento de alguém.

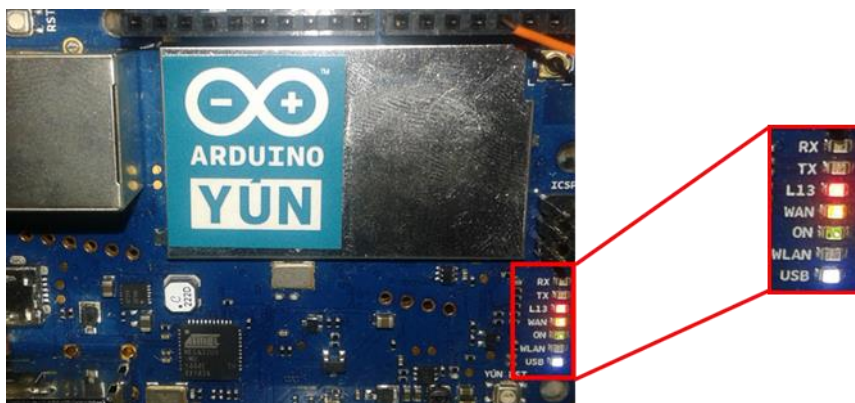


Figura 5.11: Atuação do Sensor de Movimento ao acender um LED

Relativamente à segunda função deste sensor, esta diz respeito apenas à aplicação primária deste tipo de sensor. O objetivo é registar graficamente o andamento da tensão ao longo do tempo, inferindo assim a presença (e respetivo movimento) ou a ausência (de movimento) de pessoas no espaço em que este sensor estiver operar e a monitorizar. A saída é digital, que com base no catálogo Panasonic Eco Solutions Company (2012), caracteriza-se por uma saída correspondente a um determinado valor de tensão, apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Características Elétricas do Sensor de Movimento

Característica		Símbolo	Valor
Tensão de Operação	Max	Vdd	6,0 V
	Min		3,0 V
Corrente consumida (em modo standby)	Média	Iw	170 $\mu$ A
Corrente de Saída (durante a fase de deteção)	Max	Iout	100 $\mu$ A
Tensão de Saída (durante a fase de deteção)	Min	Vout	Vdd – 0,5V
Tempo de estabilização do sistema (quando a tensão é aplicada)	Max	Twu	30 seg

Desta forma, decidiu-se monitorizar o andamento desta tensão ao longo do tempo, sendo assim possível observar o momento em que o sensor deteta algum movimento de uma ou mais pessoas. Como é possível observar pela Tabela 5.3, a tensão mínima de saída é dada por

$$V_{out} = V_{dd} - 0,5 [V] \quad (5.1)$$

pelo que é expectável que a tensão de saída seja maior ou igual que 4,5 V, uma vez que a tensão de alimentação  $V_{dd}$  é de 5 V. Sendo assim, é possível inferir que o sensor detetou movimento se se observar uma tensão superior a 4,5 V. Tratando-se de um sensor com uma saída digital, no limiar é possível afirmar que à ausência de movimento associar-se-á um valor lógico de “0”, correspondendo a uma tensão analógica de 0 V. Por outro lado, à deteção de movimento corresponderá o valor lógico de “1” e a tensão de 5 V. O Gráfico 5.1 que se segue pretende demonstrar isso mesmo, onde são realizados alguns testes no sentido de perceber esta funcionalidade, instalando dois sensores deste tipo, em duas salas diferentes.

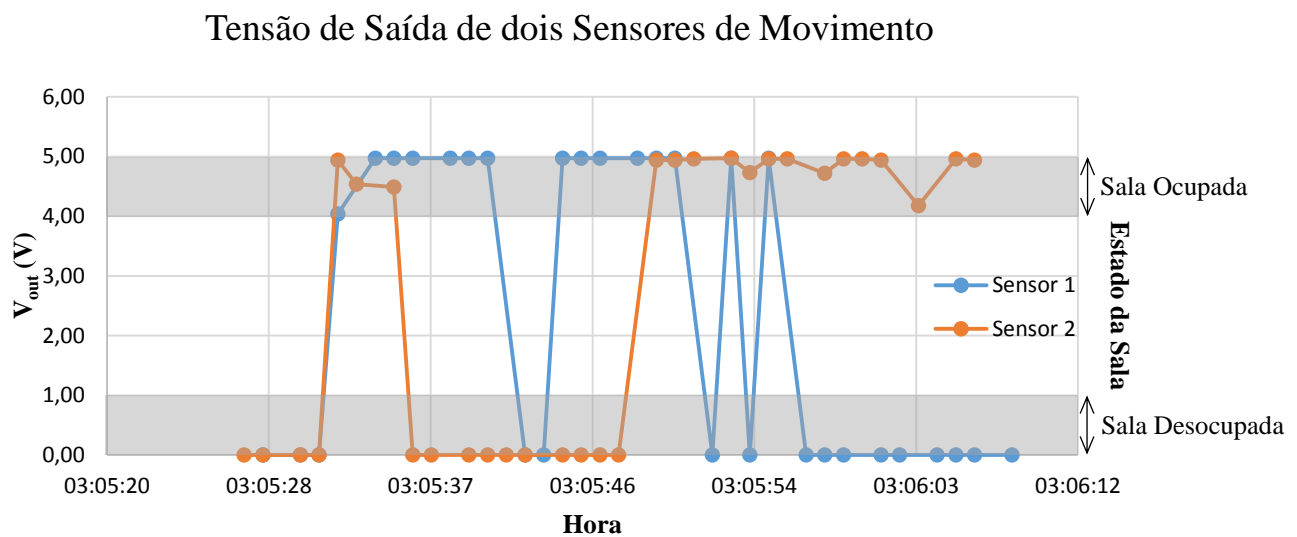


Gráfico 5.1: Comparação entre as Tensões de Saída respetivas de dois Sensores de Movimento

Com base no gráfico anterior, é possível constatar o potencial desta funcionalidade, uma vez que é possível claramente monitorizar o movimento das pessoas numa sala específica, qualquer que seja o número de salas de um determinado local. Efetivamente, e como já foi referido anteriormente, o valor de tensão de 5V corresponde a movimento e os 0V, à ausência do mesmo. Porém, a transição da tensão de saída dos 0 para os 5V, resultado de ter passado de ausência de movimento para a deteção do mesmo, e vice-versa, não é feita de forma instantânea, pelo que tenham sido recolhidos valores diferentes de 0 ou 5. Nesse sentido, assumiu-se que para valores compreendidos entre 4 e 5V, a sala estaria ocupada, enquanto para valores entre os 0 e 1V, a mesma estaria desocupada.

Com o sistema desenvolvido, é impossível ter a perceção de quantas pessoas se encontram na sala. Uma vez que este sensor apenas faz a deteção da variação da emissão de radiação infravermelha que ocorre quando há movimento de pessoas, resultando em diferenças de temperatura de uma determinada área comparando com o meio envolvente, este sensor não permite detetar se este movimento, que resultou em variações de temperatura, é causado apenas por uma ou mais pessoas.

Para concluir, paralelamente à ação desencadeada pela iluminação de uma determinada zona quando detetado movimento, numa situação real em que se encontre a monitorizar uma dada sala e na impossibilidade de se observar diretamente a mesma, através dos valores de tensão lidos provenientes do Arduino, a pessoa responsável por esta monitorização consiga detetar se alguém se encontra nessa mesma sala.

Numa situação irregular de intrusão, apesar de num ambiente real ser comum a utilização de alarmes que disparam automaticamente, uma vez detetado movimento, o sensor implementado neste sistema permite inferir a existência de movimento dentro de um determinado espaço, podendo desencadear ações que levem à proteção do património aí existente.

## 5.4 Integração da Tecnologia de *Beacons*

Como se constatou ao longo deste trabalho, a inclusão destes dispositivos diz respeito a uma importante inovação apresentada nesta dissertação. Apesar da existência de diversos sistemas de monitorização de grandezas ambientais, bem como de diversos projetos representativos desta temática, como apresentado no Estado da Arte do Capítulo 2 deste documento, nenhum dos projetos abordados contemplam uma integração desse controlo de elementos climáticos com um determinado *hardware* capaz de simular ou testar a tecnologia dos dispositivos denominados como “Sistema de Proximidade em Ambientes Fechados” ou simplesmente “Beacons”.

No caso dos testes realizados com o sistema implementado neste projeto, há um trabalho futuro a desenvolver, nomeadamente no que diz respeito ao desenvolvimento da aplicação de gestão de informações associada aos *Beacons*, como irá ser apresentado no Capítulo 6 deste documento. Sendo um trabalho extenso e que envolveria a aplicação de outros conhecimentos mais aprofundados, nomeadamente relacionados com programação de aplicações para dispositivos móveis, optou-se por testar os módulos *Bluetooth* desenvolvidos através de uma aplicação já implementada, a “USBeacon”, já apresentada no Capítulo 4.

Finalizada com sucesso a configuração dos módulos Bluetooth no terminal do IDE do Arduino, como explicado no Capítulo 4 deste documento, o resultado da aplicação que permite localizar e saber a que distância está cada um dos *Beacons*, encontra-se ilustrado na Figura 5.12 que se segue.



Figura 5.12: Interface da localização dos Beacons na Aplicação “USBeacon”

Como é possível observar pela figura acima, depois de configurados os dois UUID dos respetivos módulos Bluetooth, a aplicação faz a localização de ambos, indicando a distância a que nos encontramos de cada um deles.

Pretende-se preferencialmente que a aplicação, apesar de apenas detetar a proximidade do *Beacon* à qual está conectada, esteja futuramente apta, sempre que estiver no campo de ação de um determinado *Beacon*, a apresentar ao utilizador informações relevantes para o mesmo, como o local onde se encontra, as peças e obras que se encontram no mesmo, bem como a respetiva história, entre outras.

Uma questão alheia à realização deste trabalho, mas que se considera importante e a rever por parte dos programadores desta aplicação (e daí surgir a necessidade de implementar uma aplicação própria para este sistema), prende-se com o facto de, mesmo indicando na configuração dos UUID os nomes de cada um dos *Beacons* no ambiente da interface de localização dos mesmos, estes são nomeados através do UUID, em vez de, preferencialmente, pelos seus nomes, o que tornava a identificação dos mesmos consideravelmente mais simples e imediata. Apesar disso, sabendo a qual dos nomes se associou o respetivo UUID, constata-se que no momento

registado e ilustrado na Figura 5.12, encontrávamo-nos a aproximadamente 13 metros do *Beacon* presente na Sala 2 e a praticamente 4 metros do aparelho localizado na Sala 1.

## 6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Nesta última secção serão apresentadas as considerações finais e uma síntese do trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação, bem como uma análise ao mesmo e em consequência da mesma, serão propostos trabalhos a realizar no futuro, no sentido de melhorar o sistema desenvolvido.

### 6.1 Conclusões

O presente estudo e o sistema desenvolvido que resulta da realização desta dissertação pretende dar resposta à necessidade de criar e de desenvolver sistemas de monitorização, com o objetivo principal de os preservar e conservar, e mitigar as ameaças que possam pôr em causa o detrimento dos edifícios históricos. O desenvolvimento deste sistema pretende, por um lado, dar continuidade aos sistemas e projetos já desenvolvidos relacionados com esta temática, com a utilização de uma rede de sensores, e por outro, inovar este tipo de sistemas, através da utilização de Sistemas de Proximidade em Ambientes Fechados.

No que diz respeito aos componentes que constituem o sistema desenvolvido, a escolha recaiu em diferentes tipos de sensores, nomeadamente, de temperatura, de humidade, de luminosidade e de movimento, incluindo o módulo de Bluetooth, e ainda na plataforma do Arduino para a recolha de dados e respetiva comunicação e armazenamento na *Cloud*. A opção por estes sensores foi tendo em conta a precisão, a resistência dos materiais, o simples processo de calibração dos mesmos e ainda a facilidade de integração no sistema juntamente com o Arduino.

Sendo um sistema desenvolvido na plataforma do Arduino, a prévia programação da mesma, leva a que a instalação deste sistema seja mais simples e mais rápida, levando a que apenas seja necessário a configuração dos parâmetros desejados, tendo a conta a especificidade do local e das obras que se pretendem preservar.

O sensor de temperatura além de ter apresentado resultados precisos, onde a variação de resultados para as mesmas condições era muito pequena, também apresentou resultados exatos, tendo em conta o verdadeiro valor de temperatura que se registava no momento dos testes. Os gráficos apresentados no Capítulo 4 permitem constatar que o sensor respondeu de forma rápida às variações bruscas de temperatura, contemplando uma gama de ação para além da que é necessária ter em conta num ambiente real de utilização.

No que diz respeito ao sensor de humidade, apesar de não ter sido possível simular variações numa gama alargada de valores como o que foi testado para o sensor de temperatura, também se verificou a apresentação de resultados fiáveis e precisos.

Relativamente ao sensor de luminosidade, em termos de performance, este revelou-se bastante preciso, tendo erros de exatidão, isto é, a percentagem de desvio dos valores medidos face aos valores medidos pelo luxímetro com que foi feita a sua calibração, bastante aceitáveis, registando-se erros médios inferiores a 5%.

Por último, a utilização do sensor de movimento permitiu inferir de forma inequívoca a existência de movimento no momento e no local que está a ser monitorizado. Seja para cumprir com a função de alerta no caso de uma intrusão não desejada, seja para a regulação (mais concretamente, ativação) de iluminação do respetivo local, a análise aos testes realizados permitiu inferir que a sua utilização é bastante eficaz e precisa. Apesar de não ser possível, desta forma, distinguir o número de ocupantes de um determinado espaço (ponto discutido no subcapítulo que se segue), o alcance e a precisão com que este sensor detetou o movimento existente, permitiu cumprir com os objetivos inicialmente delineados.

Em relação à plataforma para o desenvolvimento deste sistema, a escolha da mesma deverá ter em conta e possibilitar a implementação do sistema de acordo com os objetivos inicialmente especificados, onde se destacam, a possibilidade de ter diversos sensores num único local, bem como a comunicação *wireless* e via USB, além da ligação à Internet. Nesse sentido, optou-se pela utilização da plataforma do Arduino Yún, visto que permitiu numa única plataforma, integrar diversos sensores com a conexão via USB e a utilização do ambiente Linux para programação dos *Beacons*, bem como a ligação à Internet, permitindo incluir neste sistema os conceitos de “Internet das Coisas” e de “Cloud”, permitindo que o armazenamento de grandes quantidades de



dados não seja realizado localmente, tendo sido assim possível cumprir efetivamente com os objetivos.

A inovação deste sistema face aos existentes e que diz respeito à integração dos *Beacons* num sistema deste tipo, pretende levar ao desencadeamento de ações que conduzam a uma maior preservação do património cultural, através de uma maior consciencialização dos visitantes destes locais e da população local em geral. É principalmente com a implementação desta funcionalidade, que se pretende dar resposta e cumprir com os objetivos inicialmente delineados, nomeadamente no que concerne à centralização deste sistema no utilizador que frequente estes locais.

Desenvolvendo-se um sistema que interaja de uma forma mais próxima, mais direcionada e mais centrada no utilizador, considera-se que, para além de tornar a sua experiência de visita mais interessante e mais interativa, esse facto leva a que haja uma maior responsabilização que o utilizador incute em si mesmo, no que diz respeito à preservação e conservação do património cultural e mais concretamente dos edifícios históricos que o constituem. A interatividade deste sistema, conseguida através da implementação dos *Beacons*, permite que o utilizador tenha acesso a uma mais ampla quantidade de informação e que a consiga aceder diretamente no seu dispositivo móvel (visto que estes dispositivos são nos dias de hoje tão utilizados e estão amplamente difundidos), aprofundando o conhecimento sobre os locais e obras que visita. Nesse sentido, ao permitir mais facilmente que o utilizador conheça a história do local que visita (quer nacional, quer internacionalmente), incutindo-lhe comportamentos responsáveis e sustentáveis concordantes com essa aquisição de conhecimento, bem como com a imponência e a atratividade natural deste tipo de edificado, pretende-se fazer com que o visitante se torne um agente ainda mais responsável pela preservação do mesmo e das respetivas obras.

Sendo assim, a conjugação da monitorização dos edifícios históricos através da recolha de dados de temperatura, de humidade e de luminosidade, bem como a utilização de sensores de movimento, com a utilização da tecnologia de *Beacons* que leva uma maior consciencialização dos visitantes para a temática da preservação e conservação destes edifícios, permite aumentar significativamente a sustentabilidade do património cultural, face às gerações futuras.

## 6.2 Sugestões de Trabalho Futuro

Em relação aos sensores utilizados, como já foi referido anteriormente, deverá ser discutida a viabilidade e a necessidade de instalação de um maior número de sensores que consiga tornar a aquisição de dados e futura monitorização mais completa, permitindo assim melhores e mais completos resultados, que levem a uma preservação mais eficiente. Dentro de uma larga gama de sensores possíveis a instalar, deverá ser dado o destaque ao sensor de raios UV, bem como a integração de sensores que permitam a monitorização da presença de organismos propensos a putrefação dos materiais, nomeadamente da madeira, como acelerómetros e fissurómetros ou ainda sensores de CO<sub>2</sub>, que juntamente com os de temperatura e humidade, evitam a presença de fungos que danifiquem os materiais.

Relativamente ao sensor de luminosidade, aconselha-se que caso seja realizada esta abordagem, utilizando-se o mesmo tipo de sensor (*Light Dependent Resistor*), seja realizada previamente uma calibração do mesmo. Esta calibração deverá ser efetuada, uma vez que cada sensor tem a sua especificidade e tratando-se de uma resistência que altera o seu valor consoante a intensidade de luz que lhe atinge, não sendo ideais, cada uma terá um valor associado. Nesse sentido, a calibração de ambos os sensores utilizados no desenvolvimento deste sistema foi realizada de forma individual.

Ainda no âmbito dos sensores, propõe-se que no seguimento da utilização do sensor de movimento, se estenda essa utilização e através de métodos não invasivos, se consiga controlar o número de pessoas que entra e sai de um determinado local, através da utilização de dois sensores de infravermelhos. O sistema desenvolvido, apenas com um sensor deste tipo, permite unicamente apurar a existência ou não de movimento de pessoas, pelo que, para que seja possível detetar a entrada ou saída das mesmas, seriam necessários dois deste tipo. Devido às características deste sensor elucidadas no Capítulo 4, os sensores deverão ser instalados de forma a que a deteção seja feita segundo deslocamentos e movimentos perpendiculares aos feixes de deteção, bem como a sua instalação deverá ser realizada em ambientes internos e deverão ser evitados locais que sofram mudanças bruscas de temperatura ou de incidência de correntes de ar, fontes de calor ou luz solar.

Em relação ao desenvolvimento de *software*, surgem duas propostas de melhoria, nomeadamente relacionadas com a interface de monitorização do sistema e com a aplicação móvel da tecnologia dos *Beacons*.

Deverá ser implementada uma interface de recolha e monitorização dos dados mais completa, contemplando opções adicionais (como a seleção de um dado sensor de um determinado

dispositivo ou o processamento e respetiva apresentação gráfica, diretamente na interface, dos resultados obtidos), integrando igualmente nesta interface, a possibilidade de operar determinados atuadores, para que seja possível, por exemplo, regular manual ou automaticamente a iluminação e o ar condicionado.

Adicionalmente, deverá ser também desenvolvida uma aplicação para dispositivos móveis particular deste sistema que utilize a funcionalidade dos *Beacons* desenvolvida no mesmo. Uma vez que atualmente, a aplicação referida nos capítulos anteriores apenas faz a deteção do dispositivo de Bluetooth, idealmente, esta aplicação deverá permitir que cada local esteja apto a apresentar, relativamente a um determinado espaço ou obra, a informação relevante e desejada ao utilizador, conforme o respetivo *Beacon*, ou seja, para além da deteção do *Beacon* já implementada, a aplicação deverá também despoletar no dispositivo móvel, a apresentação da informação associada a este *Beacon*.

Por último, deverá ser feito um estudo e uma análise económico-financeira no sentido de perceber se esta solução será financeiramente viável face às existentes e realizando um estudo durante um espectro maior de tempo, perceber se, com a introdução da tecnologia dos *Beacons*, existe de facto uma maior mentalização por parte do utilizador comum, face ao problema da conservação do património histórico e consequentemente uma preservação mais eficaz.



## Referências

Alarcão, C. (2007). Prevenir para preservar o património museológico. Revista Do Museu Municipal de Faro.

Arduino. (n.d.-a). Arduino - ArduinoBoardYun. Consultado a 16 de abril de 2016 de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardYun>

Arduino. (n.d.-b). Arduino - Constants. Consultado a 10 de junho de 2016, de <https://www.arduino.cc/en/Reference/Constants>

Basile, F. (2014). Turn your Arduino YUN into an iBeacon transmitter. Consultado a 20 de abril de 2016 de <http://fibasile.github.io/arduino-yun-ibeacon.html>

Bootstrap - The world's most popular mobile-first and responsive front-end framework. (n.d.). Consultado a 4 de Janeiro de 2017, de <http://getbootstrap.com/>

Central Public Works Department. (2013). Handbook of Conservation of Heritage Buildings. Consultado a 18 de fevereiro de 2016, de <http://cpwd.gov.in/Publication/ConservationHert-Buildings.pdf>

Comissão Europeia. (2015). EU to increase funding for cultural heritage research and innovation - European Commission. Consultado a 18 de fevereiro de 2016, de <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/eu-increase-funding-cultural-heritage-research-and-innovation>

DGPC | Património | Património Imóvel. (n.d.). Consultado a 21 de janeiro de 2016, de <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/>

DGPC | Património Arquitetónico. (n.d.). Consultado a 21 de janeiro de 2016, de <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/patrimonio-arquitetónico/>

Dicionário de Cambridge. (2016). Consultado a 18 de fevereiro de 2016, de <http://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/heritage-listed-building>

Sensor de Humidade. Farnell. (n.d.-a). HIH-4000-001. Consultado a 4 de julho de 2016, de <http://uk.farnell.com/honeywell/hih-4000-001/sensor-humidity-2-54mm-sip/dp/1187547>

Sensor de Temperatura. Farnell. (n.d.-b). LM35DZ/NOPB. Consultado a 4 de julho de 2016, de <http://pt.farnell.com/texas-instruments/lm35dz-nopb/temp-sensor-0-4-c/dp/1469236>

Sensor de Luminosidade. Farnell. (n.d.-c). VT935G. Consultado a 4 de julho de 2016, de <http://pt.farnell.com/excelitas-tech/vt935g/light-dependent-resistor-80mw/dp/1652638>

Sensor de Humidade. Honeywell, I. I. (2005). HIH-4000 Series. Disponível em <https://www.phanderson.com/hih-4000.pdf>

Sensor de Humidade. Honeywell, I. I. (2010). HIH-4000 Humidity sensor. Disponível em <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-hih4000-series-product-sheet-009017-5-en.pdf>

IEC. (2013). IEC 60050 - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEC number 351-54-10: “process monitoring system.” Consultado a 18 de fevereiro de 2016, de <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=351-54-10>

LeBlanc, F. (2013). Monitoring Heritage Buildings and Places. Consultado a 22 de janeiro de 2016, de [http://ip51.icomos.org/~fleblanc/documents/monitoring/doc\\_monitoring\\_e.html](http://ip51.icomos.org/~fleblanc/documents/monitoring/doc_monitoring_e.html)

LM Technologies. (n.d.). LM506. Consultado a 4 de julho de 2016, de <http://pt.farnell.com/lm-technologies/lm506/bluetooth-usb-adaptor-class-1/dp/2102735?ost=bluetooth+usb+4.0&selectedCategoryId=&categoryId=700000005287>

Sensor de Movimento. Datasheet: PIR Motion Sensor. Panasonic Eco Solutions Company. (2012). Disponível em [http://www3.panasonic.biz/ac/cdn/e/control/sensor/human/catalog/bltn\\_eng\\_papirs.pdf](http://www3.panasonic.biz/ac/cdn/e/control/sensor/human/catalog/bltn_eng_papirs.pdf)

Projeto MHS. (2014). Monitoring Heritage System. Consultado a 18 de fevereiro de 2016, de <http://www.mhsproject.com/>

Projeto SHBuildings. (2015). Relatório Final SHBuildings, 2015.

Projeto SMooHS. (2011). Smart Monitoring of Historic Structures Guidelines, disponível em <http://www.smoohs.eu/tiki-index.php?page=Monitoring%20Guideline>.

Tangible Cultural Heritage | UNESCO. (n.d.). Consultado a 17 de fevereiro de 2016, de <http://www.unesco.org/new/en/cairo/culture/tangible-cultural-heritage/>

Texas Instruments. (2000). LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors Precision Centigrade Temperature Sensors, (November), 1–13.

UNESCO. (1954). The Hague Convention. In Conferencia Intergubernamental sobre la Protección de los Bienes Culturales en Caso de Conflicto Armado (p. 79).

UNESCO. (1972). Convenção para a proteção do Patrimônio mundial, cultural e natural. Conferência Geral Da Organização Das Nações Unidas Para a Educação, Ciência E Cultura, 16. Consultado de <http://whc.unesco.org/archive/convention-pt.pdf>

Walton, T. (2003). Methods for monitoring the condition of historic places. Department of Conservation Technical Series 27. Disponível em <http://www.doc.govt.nz/documents/science-and-technical/docts27.pdf>

William, E., & Shotts, J. (2009). The Linux Command Line. LinuxCommand.org. Disponível em <http://www.linuxzasve.com/preuzimanje/TLCL-09.12.pdf>





